

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**"INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA
HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO -
PERÚ, 2019"**

PRESENTADO POR:

Br. ABRAHAM ISAAC PALACIOS ALMENDRO

ASESOR:

Ing°. ROSARIO CHUMACERO CORDOVA M.Sc.

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA CÍVIL, ARQUITECTURA Y URBANISMO
SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: LÍNEA DE CONSTRUCCIÓN**

**PIURA - PERÚ
2019**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



Facultad de Ingeniería Civil

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**“INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA
HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO-
PERÚ, 2019”**

Presentado por:

Br. ABRAHAM ISAAC PALACIOS ALMENDRO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Línea de Investigación: Ingeniería Civil, Arquitectura y Urbanismo

Sub Línea de Investigación: Línea de Construcción

Piura, Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



Facultad de Ingeniería Civil

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**“INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA
HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO-
PERÚ, 2019”**

Línea de Investigación: Ingeniería Civil, Arquitectura y Urbanismo

Sub Línea de Investigación: Línea de Construcción

**LOS SUSCRITOS DECLARAMOS QUE EL PRESENTE TRABAJO
DE INVESTIGACIÓN ES ORIGINAL, EN CONTENIDO Y FORMA.**

Br. ABRAHAM ISAAC PALACIOS ALMENDRO
AUTOR

ING. ROSARIO CHUMACERO CORDOVA M.Sc.
ASESORA

DECLARACIÓN JURADA

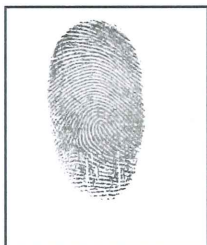
DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo: Abraham Isaac Palacios Almendro identificado con DNI N° 46949784, en la condición de egresado, de la Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Profesional de Ingeniería Civil y domiciliado en Calle José Balta N° 603, barrio Leticia, Distrito de Sullana, Provincia de Sullana y Departamento de Piura, con Celular N° 942688699, Email: abraham.civil04@gmail.com.

DECLARO BAJO JURAMENTO: que el trabajo de investigación que presento a la Oficina Central de Investigación (OCIN), es original, no siendo copia parcial ni total de un trabajo de investigación desarrollado, y/o realizado en el Perú o en el Extranjero, en caso de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo el siguiente.

Piura, agosto del 2019.



DNI N° 46949784

Artículo 411.- En que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación a hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento de Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



Facultad de Ingeniería Civil

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



CONFORMIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
EL JURADO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DENOMINADO:
“INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA
HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO-
PERÚ, 2019”

Línea de Investigación: Ingeniería Civil, Arquitectura y Urbanismo

Sub Línea de Investigación: Línea de Construcción

ES APROBADO EN CONTENIDO Y FORMA, POR:



DR. EDWIN OMAR VENCES MARTINEZ
PRESIDENTE



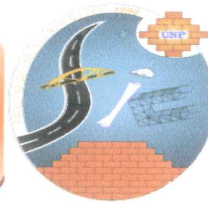
ING. CARLOS JAVIER SILVA CASTILLO M.Sc.
SECRETARIO



ING. LUIS ALBERTO BENITES AVALOS
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Dirección de la Unidad de Investigación
Mg. Ing. Carlos Javier Silva Castillo



ACTA DE EVALUACIÓN DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

Los miembros del jurado calificador del informe de investigación denominado “INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO- PERÚ,2019”, presentado por el bachiller PALACIOS ALMENDRO ABRAHAM ISAAC, participante del Programa de Actualización para Titulación Profesional en la Especialidad de Ingeniería Civil Versión XVII 2019, asesorado por la Mg.Ing. Rosario Chumacero Córdova. Revisado y absueltas las observaciones formuladas por el jurado calificador, lo declaran:

Aprobado

Con la nota:

Dr. Ing. EDWIN OMAR VENCES MARTÍNEZ

17

Mg Ing. CARLOS JAVIER SILVA CASTILLO

17

Ing. LUIS ALBERTO BENITES AVALOS

17

Piura,06 de agosto de 2019


Dr. Ing. EDWIN OMAR VENCES MARTÍNEZ
PRESIDENTE-JURADO CALIFICADOR


Mg.Ing. CARLOS JAVIER SILVA CASTILLO
SECRETARIO-JURADO CALIFICADOR


Ing. LUIS ALBERTO BENITES AVALOS
VOCAL-JURADO CALIFICADOR

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación lo dedico primeramente a Dios por la fortaleza que me da cada día para luchar por mis metas; a mis padres Juana y Manuel por ser el ejemplo de perseverancia, amor, trabajo, honradez y respeto; a todos mis hermanos por apoyarme incondicionalmente en todo momento, donde su calidad humana y profesional son el ejemplo a seguir en mi vida; a mi gran hermano y amigo Elberth allá en el cielo por haberme enseñado a través de sus consejos, el valor del trabajo, la solidaridad y la unión familiar, para ayudarme a para a ser una mejor persona día a día; a mi abuelo Sixto allá en el cielo que es mi segundo padre que tuve en la infancia y adolescencia, por brindarme su amor, cuidado y principios del buen oficio.

AGRADECIMIENTOS

Sincero agradecimiento al personal de Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Piura, por el apoyo con la prensa de rotura de probetas de concreto, utilizada para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión simple del concreto de todas las probetas preparadas en el presente proyecto.

Asimismo, a mi hermano Pedro Palacios por facilitarme los equipos y herramientas de su laboratorio para realizar los ensayos a los agregados, el equipo de concreto para preparar las probetas de los diseños de mezcla de concreto, y el desarrollo del método de curado acelerado con agua hirviendo y el curado normal con agua potable, de las probetas de concreto en la etapa práctica de trabajo.

A asesora Ing. Rosario por su disponibilidad y apoyo académico, a los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Piura por el conocimiento transmitido en cada uno de los cursos llevados a lo largo de mi etapa universitaria, y con ello contribuir en mi formación académica y personal.

Amigos y compañeros por darme el apoyo incondicional, pasar gratos momentos de solidaridad, sacrificio y lecciones de vida compartidas dentro y fuera de las aulas, llegando a ser personas muy valiosas en cada logro alcanzado.

Índice general

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	4
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1 Descripción de la realidad problemática	4
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
1.3.1 Hipótesis general	4
1.4 Definición y operacionalización de variables	5
1.5 Justificación e importancia de la investigación.....	5
1.6 Delimitación de la investigación.....	5
CAPÍTULO II.....	6
ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS	6
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Bases teóricas.....	7
2.3 Glosario de términos básicos	7
2.4 Marco referencial	8
CAPÍTULO III	9
FUNDAMENTOS DEL CONCRETO.....	9
3.1 Historia del concreto	9
3.2 Definición del concreto	9
3.3 Características del concreto.....	10
3.4 Composición del concreto.....	10
3.4.1 Pasta	10
3.4.2 Agregado	11
3.5 Selección, dosificación, preparación y control de la producción de concreto	11
3.5.1 Selección de los componentes.....	11
3.5.2 Dosificación de la mezcla de concreto	11
3.5.3 Preparación y control del concreto	12
3.6 Concretos de alto desempeño.....	12
3.7 Ventajas y limitaciones del concreto.....	13

CAPÍTULO IV	14
COMPONENTES DEL CONCRETO	14
4.1 El cemento Portland y sus pruebas.....	14
4.1.1 Definición de cemento Portland.....	14
4.1.2 Composición química del cemento Portland.....	14
4.1.3 Clasificación del cemento Portland.....	15
4.1.4 Pruebas en el cemento Portland	16
a) Determinación de la consistencia normal del cemento Portland.....	16
b) Determinación del tiempo de fraguado del cemento Portland	17
c) Determinación de la resistencia a la compresión del cemento Portland	18
d) Determinación del peso específico del cemento Portland.....	19
4.2 Los agregados y sus ensayos.....	20
4.2.1 Definición de agregados.....	20
4.2.2 Clasificación de los agregados	21
a) Agregado fino.....	21
b) Agregado grueso	22
4.2.3 Ensayos en los agregados.....	25
a) Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos	25
b) Módulo de fineza en los agregados	26
c) Gravedad específica y absorción de los agregados finos y gruesos	27
d) Equivalente de arena	28
e) Porcentaje de caras fracturadas en agregados gruesos	29
f) Porcentaje de chatas y alargadas en agregados gruesos.....	30
g) Porcentaje de material más fino que pasa por la malla N° 200 en agregados finos	31
4.3 El agua y sus análisis.....	32
4.3.1 Agua para el concreto.....	32
4.3.2 Análisis químico del agua para concreto.....	33
4.4 Contenido de aire en la mezcla de concreto.....	34
4.5 Aditivos para el concreto	35
4.6 Adiciones minerales	36
CAPÍTULO V	37
PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.....	37
5.1 Fluidéz y consistencia	37
5.1.1 Influencia de los agregados	37

5.1.2	Importancia de la granulometría de los agregados	37
5.1.3	Ensayo de consistencia	37
5.2	Trabajabilidad	39
5.3	Segregación	40
5.4	Exudación.....	41
5.5	Temperatura	42
5.6	Peso unitario.....	43
CAPÍTULO VI		44
PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.....		44
6.1	Resistencia a la compresión simple	44
6.2	Durabilidad.....	47
6.3	Impermeabilidad	50
CAPÍTULO VII.....		51
CURADO Y DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO		51
7.1	Curado del concreto	51
7.2	Sistemas de curado del concreto	52
7.2.1	Curado con agua.....	52
7.2.2	Curado con materiales selladores	53
CAPÍTULO VIII		55
DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL		55
8.1	Consideraciones para el diseño	55
8.2	Información y parámetros básicos para el diseño	56
8.2.1	Información	56
8.2.2	Parámetros básicos	56
8.3	Procedimiento para el diseño de mezclas de concreto por el método del ACI.....	57
8.3.1	Selección del asentamiento	57
8.3.2	Selección del tamaño máximo del agregado	58
8.3.3	Estimación del agua de mezclado y contenido de aire	58
8.3.4	Selección de la relación agua-cemento (a/c)	60
8.3.5	Cálculo del contenido de cemento	61
8.3.6	Estimación del contenido de agregado grueso	62
8.3.7	Estimación del contenido de agregado fino	63
8.3.8	Ajuste por contenido de humedad de los agregados	65
8.3.9	Ajuste de las mezclas	66
8.4	Evaluación del grado de control del concreto	66

8.4.1	Desviación estándar (σ)	66
8.4.2	Coeficiente de variación (v)	67
8.4.3	Resistencia de diseño, f'_{cr} (diseño).....	67
CAPÍTULO IX		69
CURADO ACELERADO EN EL CONCRETO		69
9.1	Definición.....	69
9.2	Procedimientos para el curado acelerado	70
9.2.1	Procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo (método b)	72
9.3	Equipo para el curado acelerado con agua hirviendo.....	73
9.4	Ventajas y desventajas del aceleramiento de la resistencia	74
CAPÍTULO X		75
METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		75
10.1	Número de probetas ensayadas	75
10.2	Ensayos a los materiales de la mezcla de concreto	76
10.2.1	Ensayos al cemento	76
10.2.2	Ensayos al agregado grueso	77
10.2.3	Ensayos al agregado fino.....	85
10.2.4	Ensayos al agua	93
10.3	Diseño de mezclas y preparación de los testigos cilíndricos de concreto.....	93
10.4	Ensayo de asentamiento al concreto fresco.....	102
10.5	Curado acelerado y normal de las probetas.....	103
10.5.1	Curado acelerado con agua hirviendo a las probetas de concreto.....	104
10.5.2	Curado normal de probetas de concreto	107
10.6	Ensayo de resistencia a la compresión simple del concreto.....	109
10.7	Análisis e interpretación de los resultados	111
CAPÍTULO XI		127
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		127
11.1	Conclusiones	127
11.2	Recomendaciones.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		132
ANEXOS		134

Índice de tablas

Tabla 4. 1 Tipos de cemento y su descripción.....	15
Tabla 4. 2 Tiempo para la prueba de resistencia a la compresión del cemento.....	19
Tabla 4. 3 Requisitos del agregado fino para concreto estructural.....	21
Tabla 4. 4 Granulometría del agregado fino.....	22
Tabla 4. 5 Requisitos del agregado grueso para concreto estructural	23
Tabla 4. 6 Granulometría del agregado grueso para concreto estructural	24
Tabla 4. 7 Módulo de fineza de agregados finos para concreto	27
Tabla 4. 8 Valores mínimos de equivalente de arena para concreto estructural	29
Tabla 4. 9 Valor mínimo de partículas fracturadas mecánicamente para concreto estructural	30
Tabla 4. 10 Valor máximo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos	31
Tabla 4. 11 Porcentaje máximo de material fino que pasa el tamiz N° 200 en agregados finos para concreto estructural.....	31
Tabla 4. 12 Requisitos de performance del concreto para el agua de la mezcla	33
Tabla 4. 13 Límites químicos opcionales para el agua de mezclado.....	34
Tabla 5. 1 Consistencias en las mezclas de concreto	38
Tabla 6. 1 Normas para la elaboración, curado y resistencia del concreto.....	47
Tabla 7. 1 Tiempo de curado después del vaciado del concreto	54
Tabla 8. 1 Asentamientos recomendados según el tipo de construcción	57
Tabla 8. 2 Consistencia según el asentamiento de la mezcla de concreto	58
Tabla 8. 3 Cantidad aproximada de agua de mezclado y contenido de aire, según el asentamiento y el tamaño máximo de los agregados (*).....	59
Tabla 8. 4 Resistencia a la compresión del concreto y relación agua-cemento	60
Tabla 8. 5 Valores máximos de relación agua-cemento para concretos con exposición severa (*)	61
Tabla 8. 6 Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto	62
Tabla 8. 7 Aproximación del peso del concreto fresco (*)	64
Tabla 8. 8 Grado de control de la calidad para el concreto.....	67
Tabla 8. 9 Valores de la constante “t”	68
Tabla 9. 1 Procedimientos de curado acelerado basados en la norma ASTM C 684.....	71
Tabla 9. 2 Fabricantes de máquinas de curado acelerado	72
Tabla 10. 1 Distribución de las probetas de concreto preparadas	75
Tabla 10. 2 Resultados de los ensayos al cemento Portland tipo I.....	76
Tabla 10. 3 Ensayo 1 de análisis granulométrico al agregado grueso	80
Tabla 10. 4 Ensayo 2 de análisis granulométrico al agregado grueso	81
Tabla 10. 5 Ensayo de peso específico y absorción al agregado grueso	82
Tabla 10. 6 Ensayo de peso unitario al agregado grueso.....	82
Tabla 10. 7 Ensayo de humedad al agregado grueso.....	83
Tabla 10. 8 Ensayo de partículas fracturadas del agregado grueso	83
Tabla 10. 9 Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso.....	84
Tabla 10. 10 Resultados de los ensayos al agregado grueso	84
Tabla 10. 11 Ensayo 1 de análisis granulométrico al agregado fino	88
Tabla 10. 12 Ensayo 2 de análisis granulométrico al agregado fino	89
Tabla 10. 13 Ensayo de gravedad específica y absorción al agregado fino	90
Tabla 10. 14 Ensayo de peso unitario al agregado fino.....	90
Tabla 10. 15 Ensayo de humedad al agregado fino	91
Tabla 10. 16 Ensayo de equivalente de arena al agregado fino.....	91

Tabla 10. 17 Ensayo de cantidad de material más fino que pasa el tamiz N° 200 al agregado fino	92
Tabla 10. 18 Resultados de los ensayos al agregado fino	92
Tabla 10. 19 Resumen de diseño de mezclas para concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	96
Tabla 10. 20 Resumen de diseño de mezclas para concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	97
Tabla 10. 21 Control de roturas de probetas de concreto para diseño DMC - 01; f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	112
Tabla 10. 22 Control de roturas de probetas de concreto para diseño DMC - 02; f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	113
Tabla 10. 23 Desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (v) de resistencias de curado acelerado con agua hirviendo para f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	115
Tabla 10. 24 Desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (v) de resistencias de curado normal para f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	115
Tabla 10. 25 Desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (v) de resistencias de curado acelerado con agua hirviendo para f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	116
Tabla 10. 26 Desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (v) de resistencias de curado normal para f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	116
Tabla 10. 27 Tipos de fallas en las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	124
Tabla 10. 28 Tipos de fallas en las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	125
Tabla 11. 1 Resistencia de curado acelerado del concreto; a/c = 0.50	127
Tabla 11. 2 Resistencia de curado acelerado del concreto; a/c = 0.60	128
Tabla 11. 3 Resistencia de curado del concreto; a/c = 0.50	129
Tabla 11. 4 Resistencia de curado del concreto; a/c = 0.60	130

Índice de gráficos

Gráfico 9. 1 Influencia de la temperatura de curado en la resistencia a la compresión del concreto.....	69
Gráfico 10. 1 Resistencia de curado normal del concreto vs. edad; a/c = 0.50	117
Gráfico 10. 2 Resistencia de curado normal del concreto vs. edad; a/c = 0.60	118
Gráfico 10. 3 Resistencia de curado acelerado y normal del concreto vs. edad; a/c = 0.50	119
Gráfico 10. 4 Resistencia de curado acelerado y normal del concreto vs. edad; a/c = 0.60	120
Gráfico 10. 5. Resistencia de curado normal y acelerado del concreto vs. edad; a/c = 0.50	121
Gráfico 10. 6 Resistencia de curado normal y acelerado del concreto vs. edad; a/c = 0.60	122
Gráfico 10. 7 Porcentajes de fallas en las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	126
Gráfico 10. 8 Porcentajes de fallas en las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	126
Gráfico 11. 1 Resistencia a la compresión simple del concreto con curado acelerado vs. edad; a/c = 0.50	127
Gráfico 11. 2 Resistencia a la compresión simple del concreto con curado acelerado vs. edad; a/c = 0.60	128
Gráfico 11. 3 Resistencia a la compresión simple del concreto vs. edad; a/c = 0.50	129
Gráfico 11. 4 Resistencia a la compresión simple del concreto vs. edad; a/c = 0.60	130

Índice de figuras

Figura 4. 1 Tipos de cemento	16
Figura 4. 2 Aparato Vicat	16
Figura 4. 3 Determinación del fraguado mediante la aguja del aparato Vicat	17
Figura 4. 4 Mesa para prueba de fluidez del cemento	18
Figura 4. 5 Prensa para resistencia a compresión del cemento	18
Figura 4. 6 Matraz volumétrico, Le Chatelier	19
Figura 4. 7 Juego de mallas del agregado fino	25
Figura 4. 8 Juego de mallas del agregado grueso	26
Figura 4. 9 Ensayo de peso específico y absorción en agregados gruesos	28
Figura 4. 10 Ensayo de peso específico y absorción en agregados finos	28
Figura 4. 11 Ensayo de equivalente de arena en agregados finos	29
Figura 4. 12 Ensayo de porcentaje de partículas fracturadas mecánicamente en agregados gruesos	30
Figura 4. 13 Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos	31
Figura 4. 14 Ensayo del material más fino que pasa por la malla N° 200 por lavado con agua en agregados finos	32
Figura 5. 1 Ensayo de consistencia, para medir el asentamiento (slump) en las mezclas de concreto	38
Figura 5. 2 Trabajabilidad en las mezclas de concreto	40
Figura 5. 3 Segregación de concreto colocado en columna	41
Figura 5. 4 Exudación en la superficie de una losa de concreto consolidado	42
Figura 5. 5 Temperatura de la mezcla de concreto preparada	42
Figura 5. 6 Ensayo de peso unitario del concreto fresco	43
Figura 6. 1 Resistencia a la compresión simple del concreto vs relación agua-cemento	44
Figura 6. 2 Ensayo a la compresión simple del concreto	47
Figura 6. 3 Deterioro del concreto en un ambiente marino	48
Figura 6. 4 Deterioro del concreto por ciclos de hielo-deshielo	50
Figura 7. 1 Influencia del curado en el desarrollo de la resistencia del concreto	51
Figura 7. 2 Aplicación de un curador químico solvente en losas de concreto	54
Figura 9. 1 Dimensiones de tanque de curado acelerado	73
Figura 9. 2 Diseño de tanques de curado acelerado comerciales	73
Figura 10. 1. Moldes cilíndricos metálicos estándar 150 x 300 mm.	76
Figura 10. 2. Cemento Portland tipo I – Pacasmayo.	77
Figura 10. 3. Agregado grueso acopiado.	77
Figura 10. 4. Análisis granulométrico del agregado grueso.	78
Figura 10. 5. Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.	78
Figura 10. 6. Humedad del agregado grueso.	78
Figura 10. 7. Ensayo de partículas fracturadas del agregado grueso.	79
Figura 10. 8. Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso.	79
Figura 10. 9. Agregado fino acopiado.	85
Figura 10. 10. Análisis granulométrico del agregado fino.	86
Figura 10. 11. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.	86
Figura 10. 12. Humedad del agregado fino.	86
Figura 10. 13. Equivalente de arena del agregado fino.	87
Figura 10. 14. Material fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado del agregado fino	87
Figura 10. 15. Agua potable para las mezclas de concreto	93
Figura 10. 16. Equipo para preparar las mezclas de concreto.	98
Figura 10. 17. Pesado del cemento para la mezcla de concreto.	98

Figura 10. 18. Pesado del agregado grueso para la mezcla de concreto.....	98
Figura 10. 19. Pesado del agregado fino para la mezcla de concreto.....	99
Figura 10. 20. Pesado del agua para la mezcla de concreto.	99
Figura 10. 21. Mezclado de los componentes de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	100
Figura 10. 22. Mezclado de los componentes de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	100
Figura 10. 23. Varillado de los testigos de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	100
Figura 10. 24. Varillado de los testigos de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	101
Figura 10. 25. Acabado de los testigos de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	101
Figura 10. 26. Acabado de los testigos de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	101
Figura 10. 27. Equipo para ensayo de asentamiento en concreto fresco.	102
Figura 10. 28. Ensayo de asentamiento a la mezcla de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	102
Figura 10. 29. Ensayo de asentamiento a la mezcla de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	103
Figura 10. 30. Identificación de probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ² para el curado acelerado o normal.....	103
Figura 10. 31. Identificación de probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ² para el curado acelerado o normal.....	104
Figura 10. 32. Equipo confeccionado para el curado acelerado de probetas de concreto.	104
Figura 10. 33. Colocado de probetas de concreto en recipiente de curado acelerado.	105
Figura 10. 34. Procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo.	106
Figura 10. 35. Retiro de probetas de concreto del recipiente de curado acelerado.	106
Figura 10. 36. Secado de probetas de concreto curadas con agua hirviendo.	106
Figura 10. 37. Ensayo a la compresión simple de probetas de concreto con curado acelerado.....	107
Figura 10. 38. Tanque de curado normal para probetas de concreto.	108
Figura 10. 39. Secado de probetas de concreto con curado normal.	108
Figura 10. 40. Ensayo a la compresión simple de probetas de concreto con curado normal.	108
Figura 10. 41. Prensa de rotura de probetas de concreto.	109
Figura 10. 42. Rotura de las probetas de concreto.	110
Figura 10. 43. Falla de las probetas de concreto.	110
Figura 10. 44. Tipos de fallas en probetas estándar de concreto.	110
Figura 10. 45. Falla por corte de las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ²	123
Figura 10. 46. Falla por corte de las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ²	123

Índice de anexos

Anexo 1 Ficha técnica de cemento Portland tipo I usado en el diseño de mezclas de concreto	135
Anexo 2 Formato de registro y control de las roturas de probetas de concreto para curado acelerado y normal.....	136
Anexo 3 Formato de registro de fallas de las probetas de concreto puestas en curado acelerado y normal.....	137
Anexo 4 Requerimientos de gradación en agregados finos para concreto	137
Anexo 5 Norma ASTM C 33 – 01a – Requerimientos de gradación en agregados gruesos para concreto.....	138
Anexo 6 Matriz de consistencia del proyecto.....	139
Anexo 7 Resumen de presupuesto del proyecto	139
Anexo 8 Dimensiones (*) de recipiente para el curado acelerado de una probeta de concreto	140
Anexo 9 Preparación de probetas de concreto para el curado acelerado o normal	140
Anexo 10 Curado acelerado con agua hirviendo de las probetas de concreto	141
Anexo 11 Curado normal con agua potable de las probetas de concreto	141
Anexo 12 Secado y enfriado de las probetas de concreto del curado acelerado	141
Anexo 13 Prensa de rotura de probetas de concreto en laboratorio	142
Anexo 14 Ensayo de compresión simple a las probetas de concreto de curado acelerado	142
Anexo 15 Ensayo de compresión simple a las probetas de concreto de curado normal ...	142

RESUMEN

El presente trabajo de investigación: **“Influencia del curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto-Perú, 2019”**; tiene como finalidad determinar de forma clara el efecto del curado acelerado con agua hirviendo, en la resistencia temprana en el concreto, así como verificar la calidad de un concreto con respecto a su resistencia, analizar la variabilidad de los resultados del ensayo a la compresión a partir de la relación entre un curado acelerado y el curado normal de los testigos de concreto. Y finalmente, llegar a las conclusiones y recomendaciones a partir del procesamiento y análisis de los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto sometidas a curado acelerado o estándar, para el diseño de mezclas de concreto, fabricados en la ciudad de Piura.

En este sentido, se desarrollará el procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo, dado por el comité ASTM C 684 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), a través del procedimiento B “Boiling Water Method (Método de agua hirviendo).

El desarrollo del procedimiento de curado acelerado ASTM C 684 - 99, permite determinar la resistencia temprana del concreto por efecto de la elevación de la temperatura. Asimismo, a partir de la resistencia temprana del concreto estimar la resistencia potencial del concreto a 28 días, con el empleo de las expresiones y gráficos matemáticos obtenidos en el presente estudio.

En efecto, al concluir el trabajo determinaremos la influencia del curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto, a partir de los resultados de resistencia a la compresión obtenidos. Además, será un aporte a las siguientes investigaciones sobre el estudio del curado acelerado en el desarrollo acelerado de la resistencia temprana del concreto.

PALABRAS CLAVE: CONCRETO / CURADO ACELERADO / COMPRESIÓN SIMPLE.

ABSTRACT

The present research work: **“Influence of accelerated curing with boiling water on early concrete resistance-Peru, 2019”**; Its purpose is to clearly determine the effect of accelerated curing with boiling water, on early strength in concrete, as well as to verify the quality of a concrete with respect to its strength, to analyze the variability of the results of the compression test from the relationship between an accelerated curing and the normal curing of concrete witnesses. And finally, reach the conclusions and recommendations from the processing and analysis of the results obtained from the compressive strength of concrete specimens subjected to accelerated or standard curing, for the design of concrete mixtures, manufactured in the city of Piura.

In this sense, the procedure of accelerated curing with boiling water will be developed, given by the committee ASTM C 684 (American Society for Testing and Materials), through the procedure B "Boiling Water Method (Method of boiling water).

The development of the accelerated curing process ASTM C 684-99, allows determining the early resistance of the concrete due to the rise in temperature. Also, from the early resistance of the concrete estimate the potential resistance of the concrete to 28 days, with the use of expressions and mathematical graphs obtained in the present study.

In fact, at the end of the work we will determine the influence of accelerated curing with boiling water on the early strength of the concrete, based on the compression resistance results obtained. In addition, it will be a contribution to the following research on the study of accelerated curing in the accelerated development of early concrete strength.

KEY WORDS: CONCRETE / ACCELERATED CURING / SIMPLE COMPRESSION.

INTRODUCCIÓN

El estudio del concreto a dado importantes avances para entender las propiedades de sus materiales y el comportamiento entre ellos. Mientras tanto, se busca fabricar un concreto de alta calidad y económico. Por consiguiente, para garantizar su calidad se requiere conocer mejor las condiciones climáticas del lugar donde se fabricará el concreto.

La gama de climas, condiciones ambientales posibles y algunos casos singulares, por lo que problemas tan antiguos como producir técnicamente concretos durables en la sierra y el altiplano, trabajar en forma científica y eficiente con agregados marginales en la selva, o superar las dificultades de hacer concretos en climas cálidos en gran parte de la costa. Con el objetivo principal de dar soluciones innovadoras para el avance de la tecnología del concreto local.

La buena calidad del concreto, depende de cada una de sus etapas desde su fabricación, colocación, consolidación y curado. En este sentido, permitir que el concreto permanezca en curado luego de su acabado, ayudará a desarrollar la reacción química entre el cemento y el agua.

Por otro lado, tenemos los procedimientos de curado acelerado para acelerar las resistencias de las probetas de concreto. Se consigue, acelerando la velocidad de hidratación del cemento para endurecer más rápidamente hasta alcanzar una resistencia suficiente en corto tiempo (Krishna y Sukesan, 1977).

El comité ASTM C 684 de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), publicó 4 procedimientos de curado acelerado en probetas de concreto, para determinar su resistencia temprana, tras el incremento de la temperatura de curado. Sin embargo, en el presente trabajo, se desarrollará el procedimiento B. Boiling Water Method (Método del Agua Hirviendo).

En tal sentido, los resultados de resistencias tempranas permitirán datos útiles para el control de calidad del concreto y realizar los ajustes oportunos (Arévalo y Herrera, 2005). Asimismo, los valores de la resistencia del curado acelerado tienen la misma variabilidad que las resistencias obtenidas con el curado estándar.

Las investigaciones difundidas por el Instituto Americano del Concreto (ACI). Alva (2013) afirma “En muy probable que en un futuro se utilicen los curados acelerados conocidos como “*One Day Test*” para la aprobación del concreto en obra y no esperar 28 días como sucede en la actualidad” (p.16).

En definitiva, el presente trabajo de investigación analizará la influencia del curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto. A partir de los resultados obtenidos en el ensayo a la compresión de testigos de concreto elaborados.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la región Piura, debido a la necesidad de conocer la resistencia temprana de un concreto luego de fabricado, se requiere realizar el curado acelerado en las probetas de concreto. En tal sentido, normalmente se debe esperar un periodo de 28 días (Norma E.060 Concreto Armado, 2009, p.43, 5.6.2.3) para la verificación de su resistencia. Mientras tanto, se avanza continuamente con el vaciado en obra. Consecuencia de ello, en algunos casos se obtienen resultados de resistencia adversos, lo cual implica la baja calidad del concreto en su estado endurecido.

No obstante, resulta muy valioso emplear un método de curado acelerado normado por comités especializados, que influya en la resistencia temprana del concreto. El cual será de gran ventaja en la construcción. Los resultados de resistencia se conocerán en un periodo menor de 24 horas (Arévalo y Herrera, 2005). Tras el ensayo a la compresión simple, se verificará la influencia del curado acelerado en la resistencia temprana del concreto. En caso de ser aprobado, pueda ser realizado en obra para la materialización de un elemento de concreto.

Sin embargo, se debe verificar el vaciado de concreto en obra, en caso de tener algún resultado de baja resistencia, realizar los ajustes necesarios y tras aplicar el curado acelerado en las probetas de concreto conocer al día siguiente, si la dosificación de la mezcla de concreto, alcanzará como mínimo la resistencia de concreto requerida.

En efecto, al mismo tiempo debemos realizar el control de resistencia de probetas preparadas y curadas en condiciones normalizadas, ensayadas a la compresión a los 28 días de edad (Krishna y Sukesan, 1977).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Determinar la influencia del curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Aplicar el procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo indicado por el comité ASTM C 684 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
- Establecer cómo influye el curado acelerado con agua hirviendo en los diseños de mezcla según la relación agua-cemento.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

El curado acelerado con agua hirviendo aumenta la resistencia temprana del concreto.

1.4 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- Variable dependiente

Resistencia a la compresión temprana de probetas de concreto, puestas en curado acelerado.

Definición operativa:

Procesamiento estadístico de datos obtenidos tras el ensayo a la compresión simple de las probetas con curado acelerado, para las resistencias más comunes, la relación de agua cemento obtenida para cada diseño y la relación de los datos obtenidos a través del curado de manera normalizada versus en método de curado acelerado con agua hirviendo. En este sentido, ayudará a hacer correcciones rápidas, racionalizar los componentes y asegurar su buen desempeño al ser puesto en servicio.

- Variable independiente

Método del curado acelerado con agua hirviendo sobre probetas de concreto.

Definición operativa:

Elaborar varios diseños de mezclas de concreto, para concretos de tipo normal, siguiendo el procedimiento del curado acelerado con agua hirviendo, para testigos de concretos preparados en laboratorio. Asimismo, realizar los ensayos de calidad a los agregados y al concreto en su estado fresco y endurecido.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La resistencia temprana del concreto, requiere ser verificada con uno curado acelerado, para ello realizaremos el curado acelerado con agua hirviendo en probetas de concreto.

En tanto, la resistencia del concreto fabricado se evalúa a los 7, 14 y 28 días de edad. Sin embargo, debido al gran avance de los proyectos de construcción que hace unos años demoraban años ahora se ejecutan sólo en unos meses, las roturas a 28 días e incluso a 7 días para evaluar si dicho concreto cumple con el requisito de su resistencia, implica mucho tiempo (Alva, 2013).

Por ello, determinar si el curado acelerado con agua hirviendo influye en la resistencia temprana del concreto, permitirá corregir posibles casos desfavorables de manera oportuna (Krishna y Sukesan, 1977).

El curado acelerado con agua hirviendo es uno de los 4 procedimientos normados por el comité ASTM C 684 de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, para determinar influencia del curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto, debido al incremento de la temperatura (Arévalo y Herrera, 2005).

1.6 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo desarrollará el curado acelerado con agua hirviendo para probetas de concreto, en diseños de mezclas de concreto sin aditivo. En este caso será en concreto normal. Puesto que, los concretos normales son preparados con agregados convencionales, donde su unitario varía de 2300 a 2500 Kg/m³ (Abanto, 2009).

Por otro lado, el trabajo de investigación pertenece a la sub línea de la construcción, puesto que trata un procedimiento de curado acelerado útil en la ejecución de proyectos, cuya finalidad es determinar la influencia del curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto, para los diseños de mezcla de concreto, producidos en la ciudad de Piura.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Rodríguez y Torres (2018). En 1927, “Gerend M., presentó la publicación llamada “Cilindros curados al vapor dan las resistencias del hormigón a los 28 días en 48 horas”, demostrando que los cilindros de concreto pueden obtener una acelerada resistencia a la compresión, mediante la aplicación de vapor a presiones entre 80 a 100 psi. Sin embargo, no tuvo mucha acogida, debido al que usó un equipo muy sofisticado” (p.1).

Luego, en la década de los 50, se tiene una publicación destacada de Thomas Norman Akroyd y Smith-Gonder, denominada “Curados acelerados en probetas cúbicas de hormigón”, indicando 2 métodos para predecir la resistencia a la compresión de 7 y 28 días, con agua hirviendo: El primer método consiste en el curado de las probetas próximo a los 100°C durante 7 horas, luego enfriar por 1 hora y ensayar a la compresión. El segundo método indica curar por 24 horas a 23°C, luego introducir las probetas en agua a 100°C por 3.5 horas (Rodríguez y Torres, 2018).

Posteriormente, en 1971. Rodríguez y Torres (2018). “La ASTM a través del comité 684, publica 4 métodos diferentes de curado acelerado con procedimientos y recomendaciones a seguir” (p.2).

Un artículo publicado sobre “ensayos acelerados de resistencia del hormigón”, indica. (Krishna y Sukesan, 1977). “Utilizar los métodos acelerados permiten conocer rápidamente si la proporción proyectada alcanza la resistencia requerida” (p.71).

No obstante, en un inicio el método con agua hirviendo indica que las probetas y sus moldes, se sumergen previamente en agua calentada a 60°C, luego se hace hervir el agua por 7 horas, se retiran las probetas, luego se enfrían por una hora y finalmente se rompen a compresión. Luego el método se modificó, colocando las probetas en agua hirviendo durante 3.5 horas, se enfrían por una hora y se rompen a compresión (Krishna y Sukesan, 1977).

(Krishna y Sukesan, 1977). “El método de ebullición modificado resulta más eficiente y proporciona mejores resultados que los otros” (p.72). Asimismo, concluyó que: el curado acelerado logra una resistencia entre el 25 al 35 % de la resistencia obtenida con curado normal a 28 días (Krishna y Sukesan, 1977).

En los años 80, en el Perú las tesis de investigación en las universidades sobre la tecnología del concreto fueron impulsadas por el Ing. Enrique Rivva López (Pasquel, 1999).

Sin embargo, el avance de la ingeniería, se basa en el empleo de aditivos y adiciones minerales a las mezclas de concreto para que el concreto tenga una alta calidad y desempeño. En definitiva, es importante conocer la influencia del curado acelerado con agua hirviendo, puesto que, tendría incidencia sobre la resistencia temprana del concreto.

2.2 BASES TEÓRICAS

El concreto es el producto resultante de la mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, agua y aire. No obstante, en el caso del cemento, constituye el aglomerante que reacciona con el agua y forma una pasta resistente que envuelve a los agregados. Los agregados, son materiales granulares de origen natural o artificial, que influyen directamente en la resistencia y durabilidad del concreto. El agua es el componente que hidrata al cemento e interviene en la trabajabilidad del concreto fresco. Y finalmente, el aire es un componente inherente o incorporado e influye en la porosidad del concreto endurecido.

El concreto presenta propiedades en su estado fresco y endurecido. En el estado fresco posee: consistencia, segregación, trabajabilidad, homogeneidad y falso fraguado. En el estado endurecido posee: permeabilidad, contracción, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia al corte y durabilidad.

Previamente a la elaboración de los diseños de mezclas de concreto, se necesita conocer los resultados de las características físicas, mecánicas y químicas de sus componentes. Luego se aplica un método de diseño de mezclas para proponer la proporción de cada componente, lo fabricamos en moldes y realizamos los ensayos de calidad en su estado fresco.

Los testigos elaborados después de 12 horas, se ponen en curado para el desarrollo de su resistencia. En este caso, el curado acelerado con agua hirviendo, influye en la resistencia temprana del concreto.

Un aspecto de la calidad del concreto es la resistencia del concreto, el cual debe alcanzar la resistencia a compresión requerida a los 28 días.

En definitiva, las normas internacionales ACI 318 (Instituto Americano del Concreto) y ASTM C 684 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), refieren los criterios de calidad del concreto. En el Perú tenemos, la Norma E.060 Concreto Armado (julio, 2009) y el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013 – Sección 503 (junio, 2013).

2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

Los términos más empleados en la presente investigación son:

- **Concreto:** “Mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente de resistencia” (Abanto, 2009, p.11).
- **Cemento Portland:** “En un polvo muy fino de color verdoso, resultante de la pulverización conjunta de Clinker y yeso. El cual al mezclarlo con agua forma una pasta (masa) muy plástica y moldeable que luego de fraguar y endurecer, adquiere gran resistencia y durabilidad” (Torre, 2004, p.5).
- **Agregados:** “Son Aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto” (Rivera, p.41).
- **Diseño de mezclas de concreto:** “Consiste en optimizar las variables que intervienen en su comportamiento en servicio, desde su concepción, pasando por su mezclado, fraguado y endurecimiento, hasta su madurez, dichas variables son: el costo, la resistencia, la trabajabilidad, la durabilidad y la apariencia” (Giraldo, 2006).
- **Trabajabilidad del concreto:** “Es la facilidad con la cual una cantidad determinada de materiales puede ser mezclada para formar el concreto, y luego éste puede ser, para condiciones dadas de obra, manipulado, transportado y colocado con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad” (Rivva, 2000, p.205).
- **Segregación del concreto:** “Es una propiedad del concreto fresco que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes, es decir, la separación del agregado grueso del mortero” (Abanto, 2009, p.50).

- **Consistencia del concreto:** “Es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; por ello cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación. Además, depende de la granulometría y características físicas del agregado” (Rivva, 2000, p.208 y 209).
- **Curado del concreto:** “Es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento)” (Abanto, 2009, p.235).
- **Métodos acelerados de curado del concreto:** “Son procedimientos que, por el efecto de la elevación de la temperatura, se determina la resistencia temprana del concreto incrementada y a partir de ello estimar la resistencia potencial del concreto ensayado” (Arévalo y Herrera, 2005, p.15).
- **Resistencia a la compresión simple del concreto:** “Es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse, usado como un índice de calidad del concreto” (Rivva, 2000, p.232).
- **Durabilidad del concreto:** “Es la capacidad del concreto de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Asimismo, gran parte de los daños sufridos a la intemperie los atribuyen a los ciclos de congelación y descongelación” (Abanto, 2009, p.57).
- **Resistencia teórica:** f'_c (teórico), resistencia indicada de acuerdo a la especificación requerida del concreto.
- **Resistencia de diseño:** f'_cr (diseño), resistencia para la cual se desarrolla el diseño de las mezclas de concreto.
- **Resistencia de laboratorio:** f'_c (laboratorio), resistencia obtenida en laboratorio tras en ensayo a la compresión simple de las probetas de concreto.

2.4 MARCO REFERENCIAL

El marco referencial a emplear en la presente investigación consiste en las normas y especificaciones de disposiciones establecidas en la norma de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) del comité ASTM C 684 - 99, Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.060 – Concreto Armado (Capítulos 1, 2, 3, 4 y 5), Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (Instituto Americano del Concreto) ACI 318S-08, y Comentario, Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013) – Sección 503 – Concreto Estructural y Manual de Ensayo de Materiales (EM – 2016) – Sección N° 7 – Concreto.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTOS DEL CONCRETO

3.1 HISTORIA DEL CONCRETO

En sus inicios el empleo de un material cuyas características similares al concreto nos lo da el autor romano, Plinio, puesto que para la construcción de las cisternas romanas se empleó un aglomerante, donde indicó su proporción de cinco partes de arena de gravilla pura, dos de cal calcinada más fuerte y fragmentos de sílice (Manual de Sencico, 2014).

Luego, los griegos y los romanos prepararon en sus construcciones morteros hidráulicos o concretos, empleando una mezcla de material puzolánico y cal. El Manual de Sencico (2014) señala: “los mejores concretos empleados en las más famosas construcciones romanas fueron hechos de ladrillo roto, cal y puzolana, donde sus estructuras hasta hoy se encuentran en buenas condiciones” (p.9).

Por otro lado, los antecedentes en el Perú del uso de materiales aglomerantes o cementantes, se da en la colonia durante el siglo XVI. Los españoles dan los conocimientos técnicos de la época, empleando el calicanto como aglomerante con piedras de diversos tamaños formando un parecido al concreto ciclópico actual (Pasquel, 1998-1999).

Pasquel, (1998-1999) indica: “en 1824, el constructor inglés Joseph Apsdin, patenta un cemento que al hidratarse alcanzaba según él, la resistencia de la piedra de la isla de Portland, marcando el inicio de la Tecnología del Concreto” (p.4).

A finales del siglo XIX, en Europa y Norteamérica se inicia la era del concreto armado. Luego en el siglo XX, el gobierno de Augusto B. Leguía otorga a empresas norteamericanas ejecutar varios proyectos civiles. En 1915, la empresa norteamericana Foundation Co, trae los hornos para fabricar el cemento y con ello se da inicio a la Tecnología del concreto local. Y entre 1955 y 1975 se crean varias fábricas de cemento, tales como cemento Chilca, Lima, Andino, Pacasmayo, entre otros (Pasquel, 1998-1999).

En los años 80, se ejecutan tesis de investigación en tecnología del concreto, por uno de sus propulsores el Ing. Enrique Rivva López. No obstante, en la actualidad con el desarrollo de técnicas, aditivos y conocimientos científicos, permite el progreso de la ingeniería nacional. Asimismo, es necesario seguir difundiendo y discutiendo las soluciones y dificultades presentadas en cada nueva obra y aprender de los errores cometidos en el pasado (Pasquel, 1998-1999).

3.2 DEFINICIÓN DEL CONCRETO

Producto resultante de la mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas, con la finalidad de obtener ciertas propiedades prefijadas, principalmente de resistencia (Abanto, 2009).

No obstante, el material obtenido posee un medio ligante, denominado pasta, donde se encuentran embebidas las partículas de los agregados. Dicha pasta se forma de la reacción química del cemento y el agua, para constituir la fase continua del concreto. En tanto el agregado resulta la fase discontinua del concreto, puesto que se encuentran separados por espesores diferentes de pasta endurecida. Tras ello, las propiedades del concreto dependen principalmente de las características físicas y químicas de sus componentes, siendo necesario analizar la naturaleza del concreto (Rivva, 2000).

Por otro lado, en ocasiones se añaden aditivos, para mejorar o modificar algunas de las propiedades del concreto (Abanto, 2009).

3.3 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

El concreto es un material de construcción empleado a nivel mundial, debido a las siguientes características físicas y mecánicas:

- Facilidad para colocarse dentro de los encofrados y adoptar su forma, mientras se encuentra en estado plástico.
- Gran resistencia a la compresión, por ello es adecuado en estructuras que trabajan a compresión como columnas y arcos.
- Buena resistencia al fuego y la penetración al agua.

Por el contrario, se tiene algunas desventajas en las situaciones tales como:

- El lugar de la fabricación del concreto, el personal no es capacitado para realizar el adecuado control de calidad al concreto.
- Los concretos presentan muy baja resistencia a la tracción.

En efecto, se emplea junto al acero para formar una estructura con un buen comportamiento resistente (Abanto, 2009).

3.4 COMPOSICIÓN DEL CONCRETO

El concreto actualmente se compone de 5 elementos principales: el cemento, los agregados, el agua y el aditivo, todos ellos como elementos activos, y el aire como elemento pasivo.

No obstante, el aditivo se ha convertido en un componente muy importante, ya que se ha demostrado científicamente que mejora la trabajabilidad, resistencia y durabilidad de los concretos (Pasquel, 1998-1999).

Por otro lado, el de gran interés es el cemento, a pesar que interviene en menor cantidad, pero nos define la tendencia del comportamiento en el concreto (Pasquel, 1998-1999).

Generalmente, los porcentajes en volumen de los componentes de concreto son:

- Aire: 1 - 3%
- Cemento: 7 - 15%
- Agua: 15 - 22%
- Agregados: 60 - 75%.

Mientras tanto, el concreto ya endurecido se compone de la pasta y los agregados.

3.4.1 Pasta

Sus características dependen de la relación agua-material cementante, por ello las mejores propiedades del concreto y menor porosidad se da con la más baja relación agua-material cementante de una mezcla trabajable y el mayor grado de hidratación del cemento (Rivva, 2000).

No obstante, la pasta depende de 4 elementos fundamentales, los cuales son:

- El gel, resultante de reacción química e hidratación entre el cemento y el agua.
- Los poros incluidos.
- Cristales de hidróxido de calcio formados de la hidratación del cemento y el agua.
- Cemento no hidratado que se pueda originar.

3.4.2 Agregado

Se encuentran embebidos en la pasta y se clasifican en agregado fino, agregado grueso y hormigón (conocido como agregado integral) (Rivva, 2000).

Asimismo, cumple 3 funciones principales:

- Constituir el cuerpo de la mezcla.
- Proporcionar la masa resistente a las acciones mecánicas, desgaste e intemperismo.
- Reducir los cambios volumétricos debido al fraguado y endurecimiento.

3.5 SELECCIÓN, DOSIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO

3.5.1 Selección de los componentes

La selección de cada componente del concreto depende de algunos criterios, tales como:

- La condición que posee por simple inspección in situ.
- La resistencia a la compresión del concreto requerida.
- Las condiciones ambientales y el suelo.
- El resultado del análisis físico, químico y mecánico a los agregados.

Mientras tanto, se debe conocer las características físicas y químicas del cemento a utilizar y en caso sea un cemento adicionado conocer si la adición se trata de puzolana, ceniza, escoria de altos hornos o una microsílíce.

En este sentido, en los agregados debemos conocer su gradación, tamaño máximo, módulo de fineza, resistencia y presencia de sustancias contaminantes. Además, el agua debe ser potable y saber las características de los aditivos a usar para obtener las propiedades requeridas en el concreto (Rivva, 2000).

3.5.2 Dosificación de la mezcla de concreto

La dosificación implica un balance entre la economía razonable y el requerimiento de ciertas características para la colocación de la mezcla (Abanto, 2009).

Por otro lado, encontrar la pasta necesaria que logre cubrir a la mayor parte de los agregados y ocupe los vacíos entre ellos, es uno de los objetivos de su diseño. Por ello, la trabajabilidad y consistencia del concreto, es muy importante para que la mezcla pueda ocupar todo el volumen interior del encofrado (Rivva, 2000).

No obstante, las pastas que contienen una alta relación agua-cemento resultan ser más porosas respecto de una mezcla de menor y mejor relación agua-cemento (Rivva, 2000).

Mientras tanto, si se utiliza una relación agua-cemento baja, permitirá una menor penetración de líquidos agresivos al concreto, aumentando su vida en servicio. Además, al agregar aire incorporado, ayudará a resistir ciclos severos de congelación y deshielo.

Sin embargo, a partir de resultados anteriores obtenidos en laboratorio, se procederá a dosificar los componentes para la mezcla del concreto.

En este sentido, es necesario primero conocer la calidad de cada componente del concreto. Luego dosificar a través de un diseño, preparar la mezcla, analizar las propiedades previstas del concreto en estado fresco y posteriormente conocer su resistencia a la compresión simple en estado endurecido.

En efecto, debemos tener en cuenta 4 consideraciones básicas: economía, trabajabilidad, resistencia y durabilidad (Laura, 2006).

3.5.3 Preparación y control del concreto

Cuando se tiene la dosificación de un concreto, se planifica y verifica las condiciones de los equipos y herramientas necesarios para su fabricación.

Para lo cual, debe emplearse un mezclado mecánico y no manual, usando trompos o mezcladores en buenas condiciones para obtener concreto fresco. (Manual de Sencico, 2014).

En tanto, las mezclas de concreto deben tener el tiempo necesario para lograr una masa uniforme de todos sus materiales.

Luego de ello, realizar la prueba de Slump para analizar su fluidez pre-fijada, descrito en la norma ASTM C-143. No obstante, tomar una muestra (02 probetas) y ensayar a los 28 días para conocer su resistencia, en base a la norma ASTM C 31 (Manual Sencico, 2014).

(Reglamento ACI 318S-08, 2008). Nos indica, “el mezclado debe prolongarse por lo menos durante 90 segundos después que todos sus componentes estén dentro del tambor a menos que se demuestre lo contrario mediante ensayos de uniformidad de mezclado, ASTM C 94M” (p.81).

El control de calidad del concreto comprende desde la etapa de selección, dosificación, preparación, transporte, colocación, vibrado, acabado y curado del concreto.

Lo esperado es que el concreto sea de muy buena calidad, sin embargo, se tienen algunos factores que pueden variar su calidad, dados en los siguientes rubros (Rivva, 2000):

- Los materiales, atribuible al constructor.
- La producción, atribuible al constructor.
- El control de calidad, atribuible a la supervisión o laboratorio encargado.
- Preparación del personal que interviene en la obra.

Asimismo, la calidad del concreto depende principalmente control convencional con las pruebas estándar y criterios técnicos para evaluar sus materiales, la mezcla fresca y el concreto endurecido.

3.6 CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO

El Instituto Americano del Concreto lo define como la combinación especial de desempeño y uniformidad que no siempre se puede obtener con el uso de materiales tradicionales, mezclado normal, colocación normal y curado ordinario (Portugal, 2007).

Sin embargo, debe considerarse características particulares para su fabricación, las cuales son:

- Facilidad de colocación.
- Compactación sin segregación.
- Propiedades mecánicas a largo plazo.
- Resistencia inicial.
- Permeabilidad.
- Densidad.
- Calor de hidratación.
- Dureza.
- Estabilidad volumétrica.
- Gran periodo de vida de servicio en un medioambiente severo.

En tanto, su dosificación tiene como finalidad proveer la resistencia y durabilidad necesarios para los requerimientos estructurales y medioambientales del proyecto (Portugal, 2007).

El concreto de alto desempeño tiene 5 componentes: cemento, agregado, agua, adición y aditivo.

En definitiva, en el Perú se ha producido en obras tales como: hotel Marriot en Lima a cargo de la compañía Graña & Montero año 2000, fuste de silo de clinker ejecutado por la compañía Cementos Lima, y reservorio de alta durabilidad por la compañía Constructora Moromisato S.A. año 1999. Asimismo, en el ámbito internacional, se ha empleado con gran difusión para las construcciones de puentes de concreto de gran longitud principalmente en EE.UU. y Canadá, y edificios de gran altura en EE.UU., Canadá y China (Portugal, 2007).

3.7 VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL CONCRETO

El concreto posee varias ventajas que permiten ser considerado un material de uso universal, pues en muchos países se ha elaborado para construir importantes proyectos en el ámbito de obras en edificaciones, vías e hidráulicas.

Las principales ventajas como material de construcción son:

- Versatilidad para adoptar las formas proyectadas.
- Facultad para ser preparado en sitio o prefabricados.
- El agua y los agregados pueden ser encontrados en la zona.
- Bajo costo por metro cúbico respecto de otros materiales.

Contrario a ello, tenemos algunas limitaciones los cuales resultan en ciertas ocasiones características negativas respecto de su comportamiento frente a los esfuerzos tensionales. No obstante, dichas desventajas son:

- Baja resistencia a esfuerzos de tensión.
- Permeabilidad, debido a los poros capilares en la pasta.
- Posibilidad de agrietamientos debido a que se contrae al secarse y se expande al humedecerse.

CAPÍTULO IV

COMPONENTES DEL CONCRETO

4.1 EL CEMENTO PORTLAND Y SUS PRUEBAS

4.1.1 Definición de cemento Portland

Es el producto resultante de la pulverización del clinker Portland con la adición aproximada del 6% de sulfato de calcio (yeso) (Rivva, 2000). No obstante, el cemento Portland constituye un polvo muy fino de color verdoso, siendo mezclado con agua para formar una masa plástica y moldeable, que primero fragua y posteriormente endurece, para adquirir gran resistencia y durabilidad (Torre, 2004).

Abanto (2009). Indica que el clinker es “producido por la cocción a elevadas temperaturas de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas” (p.15). No obstante, está elaborado principalmente a partir de dos materiales: piedra caliza y arcilla (Abanto, 2009).

Sin embargo, admite productos adicionados (menor al 1% en peso del total) que serán pulverizados junto al clinker (Rivva, 2000).

El cemento Portland sin adición cumple con los requisitos de la norma ASTM C 150 (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) y los cementos Portland adicionados de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C 595 (Rivva, 2000).

4.1.2 Composición química del cemento Portland

Posee principalmente cuatro (4) compuestos que conforman el 90% del peso del cemento y cada uno de ellos influye en el comportamiento del cemento (Abanto, 2009). Los cuales se indican a continuación:

- **Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$):** Compuesto que produce alta resistencia inicial en el cemento hidratado. Además, genera gran cantidad de calor de hidratación en la pasta de cemento (Abanto, 2009).
- **Silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$):** Compuesto causante principal de la resistencia posterior en la pasta endurecida (Abanto, 2009).
- **Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$):** Compuesto que requiere se le agregue yeso entre 3% y 6% para controlar el fraguado violento. Además, es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos (Pasquel, 1998-1999).
- **Alumino ferrita tricálcica ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$):** Compuesto que influye en la velocidad de hidratación y de manera secundaria en el calor de hidratación (Pasquel, 1998-1999).

4.1.3 Clasificación del cemento Portland

El cemento Portland es fabricado a partir de los requisitos especificados en la norma ASTM (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) (Pasquel, 1998-1999). No obstante, se da origen a los tipos de cemento que actualmente se producen. Los cuales, se describen en la tabla 4.1.

Tabla 4. 1. Tipos de cemento y su descripción.

Tipo de Cemento	Descripción
I	Para uso general en toda obra civil normal, no requiere propiedades especiales.
II	Moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Además, para ser usado en ambientes agresivos o vaciados masivos.
III	Desarrollo elevado de resistencia inicial, elevado calor de hidratación. No obstante, es conveniente en climas fríos, donde se requiere poner en corto tiempo el servicio de una estructura.
IV	Bajo calor de hidratación, para vaciados masivos.
V	Alta resistencia a los sulfatos y ambientes muy agresivos.
IS	Se ha añadido escoria de altos hornos entre el 25 y 70% del peso total del cemento. Se recomienda para obras con bajo calor de hidratación y alta resistencia al ataque de sulfatos.
I (SM)	Se ha añadido escoria de altos hornos menos del 25% del peso total del cemento, usado en estructuras en ambientes y suelos húmedos-salinosos, en cimientos, pisos de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.
IP	Se ha añadido puzolana entre el 15 y 40% del peso total del cemento. Desarrolla propiedades cementantes, para obras masivas, moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
IPM	Se ha añadido puzolana hasta el 15% del peso total del cemento. Desarrolla propiedades cementantes, para obras masivas, moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
ICo	Cemento tipo I mejorado con mayor plasticidad, usado para terrajeos, asentado de unidades de albañilería, pavimentos y cimentaciones.

Fuente: Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles (Torre, 2004)

En la actualidad, dentro de las varias fábricas de cemento en el Perú, la empresa de cementos Pacasmayo S.A.A. (figura 4.1) tiene una planta de producción ubicada en Piura que abastece el mercado del departamento, la misma que en los últimos años viene produciendo con mayor frecuencia los cementos de tipo I, II, V, MS, IP y ICo (Torre, 2004).



Figura 4. 1. Tipos de cemento.

Fuente: Cemento Pacasmayo – Sevifer, Cajamarca, Perú (2017)

Por otro lado, es necesario reconocer que el cemento presenta dos procesos muy importantes: el fraguado y el endurecimiento. En el caso del fraguado es la pérdida de plasticidad de la pasta de cemento, dado en dos fases: el fraguado inicial cuando la masa empieza a perder plasticidad y el fraguado final cuando la pasta se convierte en un bloque rígido no deformable. Tras ello, el endurecimiento inicia con el desarrollo lento de la resistencia (Abanto, 2009).

En efecto, es muy importante que el cemento sea protegido en almacenes cerrados sobre tablillas de madera, para impedir el contacto con un terreno húmedo. Asimismo, evitará la pérdida de su resistencia probable en el 15% luego de 3 meses, el 25% en 6 meses y seguir aumentando progresivamente con el tiempo (Abanto, 2009).

4.1.4 Pruebas en el cemento Portland

a) Determinación de la consistencia normal del cemento Portland

Es el procedimiento para establecer la consistencia normal de las pastas cementantes hidráulicas, medido con el aparato Vicat (figura 4.2), para cualquier tipo de cemento utilizado para mezclas de concreto (Guzmán, 2009).



Figura 4. 2. Aparato Vicat.

Sin embargo, es conveniente que el trabajo sea realizado en un ambiente entre los 20 °C y 27 °C. Además, la temperatura del agua para el mezclado y luego el curado de los especímenes debe mantenerse a $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ (Guzmán, 2009).

El procedimiento consiste en preparar una pasta de 650 gramos (mezcla de cemento con un porcentaje de agua), luego amasar la pasta en forma de bola pasando de una mano a otra. Tras ello colocarla en el molde troncocónico, enrasar sin presionar, y alinearla en el aparato Vicat. Después, deslizar la barra del aparato hasta la superficie de la pasta y tomar la lectura inicial, para luego soltar la barra y penetrar 10mm por debajo de su superficie por un periodo de 30 segundos para obtener la consistencia normal (Guzmán, 2009).

En definitiva, luego de repetir el proceso con varios porcentajes de agua para formar la pasta de cemento en el equipo Vicat se obtiene una consistencia constante, la cual será la consistencia normal del cemento Portland (Guzmán, 2009).

b) Determinación del tiempo de fraguado del cemento Portland

Es un método para definir el tiempo de fraguado en las pastas de cementos hidráulicos, a través de la medición de su resistencia con el aparato Vicat. No obstante, se aplica a cualquier tipo de cemento Portland (Guzmán, 2009).

Las temperaturas del ambiente y el agua son las mismas a la prueba de consistencia normal del cemento Portland (Guzmán, 2009).

Su procedimiento consiste en preparar una pasta de cemento de 650 gramos. con agua (proporción 1:3), luego colocar la pasta en la probeta, envolverla con una tela impermeable y dejar reposar 30 min. Después colocar la probeta en el aparato Vicat, dejar caer la aguja cada 30 segundos y registrar la penetración cada 15 min. hasta lograr 25 mm de penetración (Guzmán, 2009).

En la figura 4.3 se indica el ensayo de fraguado del cemento Portland, donde se mide el tiempo que demora en penetrar 25 mm la aguja del aparato Vicat en para cada muestra de pasta de cemento preparada.



Figura 4. 3. Determinación del fraguado mediante la aguja del aparato Vicat.

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/fraguado-y-endurecido.html>

En efecto, luego del registro de todas las penetraciones interpolamos para determinar el tiempo de fraguado inicial. Asimismo, cuando se observe que la aguja ya no penetra en la pasta, será el tiempo de fraguado final (Guzmán, 2009).

c) **Determinación de la resistencia a la compresión del cemento Portland**

Es un método que permite determinar la resistencia a la compresión de cualquier tipo de cemento Portland. En las figuras 4.4 y 4.5 se indican los equipos utilizados para el ensayo (Guzmán, 2009).

Las condiciones de temperatura ambiental y el agua de mezclado son las mismas al método de consistencia normal del cemento Portland (Guzmán, 2009).



Figura 4. 4. Mesa para prueba de fluidez del cemento.

Fuente: Empresa UTEST, equipo para ensayos en materiales (Ankara, Turquía)

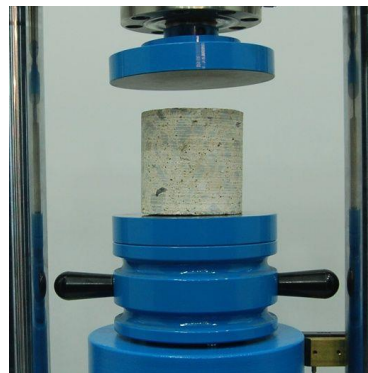


Figura 4. 5. Prensa para resistencia a compresión del cemento.

Fuente: Empresa UTEST, equipo para ensayos en materiales (Ankara, Turquía)

El procedimiento de la prueba consiste en (Guzmán, 2009):

- Elaborar un mortero a partir de un peso de cemento Portland (500 gr.), más arena que es 2.75 veces el peso del cemento (1375 gr.) y agua la mitad del peso del cemento (242 gr.).
- Determinar la fluidez, tras llenar el molde troncocónico con el mortero, una primera capa de 25mm compactada 20 veces con el pisón y luego se llena y se compacta nuevamente. Después de 1 minuto se levanta el molde y se deja caer el platillo durante 25 veces en 15 segundos desde 12.7 mm de altura. La fluidez se medirá entre la relación del incremento del diámetro de la base respecto del diámetro inicial.
- Incorporar la muestra al mortero y vuelva a mezclar por 15 segundos a velocidad media y en un tiempo no mayor de 2 minutos y medio de mezclado preparar los especímenes.
- Introducir una capa de 25 mm de espesor y compactar 32 veces en 10 segundos en 4 vueltas de 90°. Luego de completar las vueltas, avanzar con el siguiente espécimen.
- Colocar la segunda capa, llenando completamente cada molde y compactar como el anterior. El material que sobresalga deberá regresar al molde.
- Enrasar el molde y darle un acabado uniforme con la cuchara de albañil, y si se requiere elaborar más especímenes realizar los pasos anteriores sin realizar la prueba de fluidez.

- Tapar los especímenes con una tela impermeable y desmoldarlos con cuidado luego de 20 a 24 horas.
- Sumergir los especímenes en el agua y agregar cal.
- Realizar las pruebas a compresión a 1, 3, 7 y 28 días y registrar la carga máxima en el punto de falla. Se realizará de acuerdo a la tolerancia dada en la tabla 4.2.

Tabla 4. 2. Tiempo para la prueba de resistencia a la compresión del cemento.

Edad de Prueba	Tolerancia
1 día	± 30 minutos
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Fuente: Manual de prácticas de concreto hidráulico (Guzmán, 2009)

- Limpiar la superficie, aplicar las cargas sobre las caras de las paredes verticales que estuvieron en contacto con el molde.
- Calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen, con los valores obtenidos.
- Si hay especímenes cuya resistencia difiera en 10% del valor medio dado por los demás especímenes, se descartan.

d) Determinación del peso específico del cemento Portland

Consiste en un método para definir el peso específico de las pastas de cemento. El cual, es aplicable a cualquier tipo de cemento Portland. Además, la figura 4.6 indica el equipo empleado para el ensayo (Guzmán, 2009).



Figura 4. 6. Matraz volumétrico, Le Chatelier.

Fuente: La sociedad Hermanos Álamo, S.L. (Madrid, España)

Los parámetros de la temperatura del ambiente y el agua de mezclado son los mismos que la prueba de consistencia normal del cemento (Guzmán, 2009).

En tanto, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Llenar el matraz con kerosene a nivel de 1 mm.
- Tomar la primera lectura del matraz, luego de sumergirlo en un baño de agua.
- Introducir 60 gramos de cemento en el matraz, luego de un tiempo tomando pequeñas porciones y liberar el aire atrapado al interior, inclinando el matraz sobre una superficie lisa.
- Con el líquido y el cementante, hacer una segunda lectura, al interior del baño de agua.
- Reemplazar los datos en las fórmulas correspondientes y se obtiene la gravedad específica.
- La prueba deberá hacerse por duplicado, y sus resultados no deben variar en más de 0.01.

4.2 LOS AGREGADOS Y SUS ENSAYOS

4.2.1 Definición de agregados

Son materiales inertes que al mezclarse con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua forman los concretos y morteros (Abanto, 2009). En tal sentido, están compuestos por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o sus combinaciones, donde las propiedades del concreto dependen prácticamente por sus características físicas y químicas (Pasquel, 1998-1999).

En la mezcla típica de concreto los agregados constituyen aproximadamente el 75% del volumen total (Abanto, 2009). No obstante, es muy importante que la superficie de los agregados esté limpia de impurezas, tales como barro, limo y materia orgánica que conlleve a debilitar el enlace con la pasta de cemento (Abanto, 2009).

Por otro lado, la distribución volumétrica tiene gran importancia para conformar una estructura de concreto densa, eficiente y de trabajabilidad esperada (Pasquel, 1998-1999).

Los agregados deben cumplir con los requisitos de granulometría de la Norma ASTM C 33, en caso que no cumplan con algunos requisitos indicados en las especificaciones pueden ser empleados si demuestran a través de ensayos en laboratorio o experiencias de obras ejecutadas en condiciones similares sin influir en el costo, producir concretos de buena calidad (Rivva, 2000).

Finalmente, su influencia tiene un efecto importante no sólo en el acabado y calidad final del concreto, sino en la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, durabilidad, resistencia, propiedades elásticas, térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido (Torre, 2004).

4.2.2 Clasificación de los agregados

Los agregados naturales se clasifican en agregado fino y agregado grueso.

a) Agregado fino

Se considera a la arena o piedra natural finamente triturada, que pasa el tamiz 9.5 mm (3/8") (Abanto, 2009). Además, deben cumplir con los límites establecidos en la norma ASTM C 33 (Rivva, 2000).

Los agregados deben cumplir con los requisitos dados en la tabla 4.3 para fabricar concreto estructural.

Tabla 4. 3. Requisitos del agregado fino para concreto estructural.

Ensayo		Norma	Requisito
Limpieza			
Índice de plasticidad, % máximo.		MTC E 111	No plástico
Equivalente de arena, % mínimo	$F'c \leq 210 \text{ kg/cm}^2$.	MTC E 114	65
	$F'c > 210 \text{ kg/cm}^2$.	MTC E 114	75
Terrones de arcilla y partículas deleznable, % máximo.		MTC E 212	3
Carbón y lignito, % máximo.		MTC E 211	0.5
Material que pasa el tamiz 75 μm (n° 200), % máximo.		MTC E 202	3
Absorción			
Absorción de agua, % máximo.		MTC E 205	4
Contenido de materia orgánica			
Color más oscuro permisible.		MTC E 213	Igual a muestra patrón
Características químicas			
Contenido de sulfatos SO_4 , % máximo.		-	1.2
Contenido de cloruros Cl^- , % máximo.		-	0.1
Durabilidad			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo $\geq 3000 \text{ msnm}$.	Sulfato de sodio.	MTC E 207	10
	Sulfato de magnesio.	MTC E 209	15

Fuente: Tabla 503-01, Sección 503 – Concreto estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

La curva granulométrica para el agregado fino debe estar comprendida entre los límites indicados en la tabla 4.4.

Tabla 4. 4. Granulometría del agregado fino.

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95-100
2.36 mm (N° 8)	80-100
1.18 mm (N° 16)	50-85
0.60 mm (N° 30)	25-60
0.30 mm (N° 50)	5-30
0.15 mm (N° 100)	0-10

Fuente: Tabla 503-02, Sección 503 – Concreto estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

En tanto, el agregado fino no debe tener un retenido entre dos tamices consecutivos superior al 45%, y el módulo de fineza debe estar entre 2.3 y 3.1 (Sección 503 – Concreto Estructural, “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”, EG – 2013).

b) Agregado grueso

Abanto (2009), indica: “es el material retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas” (p.26). No obstante, debe cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C 33 (Rivva, 2000).

Las partículas poseen un perfil angular o semiangular; además son limpias, compactas, resistentes, rugosas y libres de partículas blandas (Rivva, 2000).

En tanto, los agregados gruesos a su vez pueden ser: grava o piedra chancada.

En el caso de grava, corresponde al conjunto de piedras provenientes de la disgregación natural de las rocas, por ello se encuentran depositados en canteras y lechos de ríos. Sin embargo, la piedra chancada es obtenida por la trituración artificial de rocas o gravas (Abanto, 2009).

En tal sentido, el agregado grueso debe cumplir con las exigencias mínimas dadas en la tabla 4.5.

Tabla 4. 5. Requisitos del agregado grueso para concreto estructural.

Ensayo		Norma	Requisito
Limpieza			
Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo.		MTC E 212	3
Carbón y lignito, % máximo.		MTC E 211	0.5
Dureza			
Desgaste en la máquina de los Ángeles, % máximo.		MTC E 207	40
Geometría de las partículas			
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), % mínimo.		MTC E 210	60
Partículas chatas y alargadas (relación 5:1), % máximo.		-	10
Características químicas			
Contenido de sulfatos $\text{SO}_4^{=}$, % máximo.		-	1.0
Contenido de cloruros Cl^- , % máximo.		-	0.1
Durabilidad			
Pérdidas ensayo de solidez en sulfatos, % máximo ≥ 3000 msnm.	Sulfato de sodio.	MTC E 209	12
	Sulfato de magnesio.	MTC E 209	18

Fuente: Tabla 503-03, Sección 503 – Concreto estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

La gradación del agregado grueso debe cumplir con alguna de las siguientes especificaciones indicadas en la tabla 4.6.

Tabla 4. 6. Granulometría del agregado grueso para concreto estructural.

Tamaño nominal (abertura tamiz cuadrada)	Porcentaje que pasa (%)														
	AG-1 (90 a 37.5 mm)	AG-2 (63 a 37.5 mm)	AG-3 (50 a 25 mm)	AG-357 (50 a 4.75 mm)	AG-4 (37.5 a 19.0 mm)	AG-467 (37.5 a 4.75 mm)	AG-5 (25 a 12.5 mm)	AG-56 (25 a 9.5 mm)	AG-57 (25 a 4.75 mm)	AG-6 (19 a 9.5 mm)	AG-67 (19 a 4.75 mm)	AG-7 (12.5 a 4.75 mm)	AG-8 (9.5 a 2.36 mm)	AG-89 (9.5 a 1.18 mm)	AG-9(*) (4.75 a 1.18 mm)
100 mm (4")	100														
90 mm (3 1/2")	90-100														
75 mm (3")		100													
63 mm (2 1/2")	25-60	90-100	100	100											
50 mm (2")		35-70	90-100	95-100	100	100									
37.5 mm (1 1/2")	0-15	0-15	35-70		90-100	95-100	100	100	100						
25.0 mm (1")			0-15	35-70	20-55		90-100	90-100	95-100	100	100				
19.0 mm (3/4")	0-5	0-5			0-15	35-70	20-55	40-85		90-100	90-100	100			
12.5 mm (1/2")			0-5	10-30			0-10	10-40	25-60	20-55		90-100	100	100	
9.5 mm (3/8")					0-5	10-30	0-5	0-15		0-15	20-55	40-70	85-100	90-100	100
4.75 mm (N° 4)				0-5		0-5		0-5	0-10	0-5	0-10	0-15	10-30	20-55	85-100
2.36 mm (N° 8)									0-5		0-5	0-5	0-10	5-30	10-40
1.18 mm (N° 16)													0-5	0-10	0-10
300 µm (N° 50)														0-5	0-5

(*) El tamaño de agregado AG-9 se define en C 125 como agregado fino. Sin embargo, cuando se combina con el tamaño de agregado AG-8, forma el tamaño AG-89, que es un agregado grueso definido en ASTM C 125.

Fuente: Tabla 503-04, Sección 503 – Concreto estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

Es necesario que para concretos de resistencia mayor a f'_c (teórico) = 210 kg/cm² el agregado grueso sea 100% triturado (Sección 503 – Concreto Estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”, EG - 2013).

Para decidir el tamaño máximo del agregado grueso es muy importante tener en cuenta los siguientes criterios en conformidad a los requisitos del Reglamento para Concreto Estructural ACI 318SUS-14 en su acápite 26.4.2.1.a.4. Los cuales son:

- 1/5” de la menor separación entre los lados del encofrado.
- 1/3” del espesor de las losas.
- 3/4” del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, refuerzo preesforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos.

Dichos criterios pueden cambiar cuando la trabajabilidad y los métodos de compactación garanticen que al colocar el concreto no se formen hormigueros o vacíos.

Los agregados que estén en contacto con ambientes húmedos de manera frecuente, no deben poseer materiales potencialmente reactivos con los álcalis del cemento, para evitar expansiones en el concreto (Torre, 2004).

4.2.3 Ensayos en los agregados

a) Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos

Consiste en pasar primero el agregado grueso y luego el agregado fino por medio de varias mallas estándar, colocándolas de mayor a menor diámetro de manera descendente, pesar las partículas retenidas, calcular el porcentaje retenido y que pasa en cada malla respecto del peso original (Guzmán, 2009).

Las mallas que se emplean para la granulometría del agregado fino son las siguientes: 3/8”, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100 (figura 4.7). La curva granulométrica obtenida del agregado fino debe estar dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C 33 (Guzmán, 2009).



Figura 4. 7. Juego de mallas del agregado fino.

Fuente: <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf>

En el agregado grueso las mallas a emplear son las siguientes: 4", 3 1/2", 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16 y N° 50, (figura 4.8). La gradación obtenida deber cumplir con alguno de los husos de granulometría establecidos en la norma ASTM C 33.



Figura 4. 8. Juego de mallas del agregado grueso.

Fuente: <http://mecanicadesuelosumng.weebly.com/praacutectica-n-1-anaacutelisis-granulomeacutetrico-por-tamizado.html#/>

En dicho ensayo se determina el tamaño máximo de los agregados, definido como la abertura del tamiz inmediato superior del que retiene el 15 % o más del agregado grueso (Abanto, 2009).

El detalle del procedimiento del ensayo de análisis granulométrico de agregados gruesos y finos nos lo da el Manual de Ensayo de Materiales (2016), Sección N° 2 Agregados, ensayo MTC E 204.

b) Módulo de fineza en los agregados

Es el índice aproximado del tamaño medio de los agregados.

En el caso de un material integral, si se obtiene un valor bajo, indicará que se trata de un agregado más fino o un valor alto indicará que se trata de un agregado más grueso.

En tal sentido, dicho valor permite controlar la uniformidad de los agregados. El módulo de fineza (M.F.) se calcula de la siguiente manera (Abanto, 2009):

$$M.F. = \frac{\text{(Suma de los porcentajes acumulados en las mallas: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100)}}{100}$$

De acuerdo a la norma ASTM, la arena para concreto debe tener el módulo de fineza indicado en la tabla 4.7.

Tabla 4. 7. Módulo de fineza de agregados finos para concreto.

Índice	Especificación	Requisito
Módulo de fineza	EG - 2013 – Sección 503 - Concreto estructural	De 2.3 a 3.1

Fuente: Sección 503 – Concreto estructural (p.907). “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

Abanto (2009). Para “un módulo de fineza entre 2.2 - 2.8, producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación, y los de módulo de fineza entre 2.8 - 3.1, son favorables para concretos de alta resistencia. Además, para obras que se requiera buena textura superficial el contenido en la malla N°50 debe ser superior al 15%” (p.29).

En efecto, la expresión para determinar el módulo de fineza se usa tanto para agregados gruesos como para agregados finos (Abanto, 2009).

c) Gravedad específica y absorción de los agregados finos y gruesos

La gravedad específica es la relación del peso del agregado respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (Guzmán, 2009). No obstante, es denominado peso específico.

Se emplea para determinar el volumen absoluto ocupado por los agregados en la proporción de la mezcla de concreto (Guzmán, 2009).

La absorción en los agregados consiste en determinar el porcentaje de agua que pueden absorber los agregados finos y gruesos. El cual permitirá estimar la cantidad de agua en la mezcla del concreto (Guzmán, 2009). Asimismo, el porcentaje máximo de absorción en agregados finos se indica en la tabla 4.3.

No obstante, el valor que se necesita para el diseño de mezclas de concreto es el peso específico saturado superficialmente seco, tanto en los agregados finos y gruesos.

Guzmán (2009), manifiesta que: “el valor de gravedad específica no se emplea como un indicador de calidad del agregado. Sin embargo, algunos agregados porosos que presentan deterioro acelerado ante congelación-deshielo poseen pesos específicos bajos” (p.41).

Por otro lado, la mayoría de los agregados naturales poseen valores de gravedad específica entre 2.4 y 2.9 (Guzmán, 2009).

El Manual de Ensayo de Materiales (2016) en la sección N° 2 Agregados, mediante los ensayos MTC E 205 y 206 se indica, la finalidad, el alcance y el procedimiento para determinar el peso específico (gravedad específica) en los agregados finos y gruesos, respectivamente.

Las figuras 4.9 y 4.10, indican el ensayo para determinar el peso específico y la absorción en los agregados gruesos y finos, respectivamente.



Figura 4. 9. Ensayo de peso específico y absorción en agregados gruesos.

Fuente: video de guía de cómo realizar el ensayo ASTM C 127 (Mamani, 2014)



Figura 4. 10. Ensayo de peso específico y absorción en agregados finos.

Fuente: video de guía de cómo realizar el ensayo de peso específico agregado fino (Huaraca, 2017)

d) Equivalente de arena

Es un ensayo que permite determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos (Instituto Nacional de Vías, Norma I.N.V. E – 133 – 07).

No obstante, es muy importante reconocer que un porcentaje menor al requisito especificado, indicará que la cantidad de finos arcillosos en la arena, pueden afectar negativamente la resistencia y durabilidad del concreto (Práctica N° 6, Prácticas de Materiales de Construcción, Curso 2008 – 2009, Universidad de Alicante).

En tal sentido, para concreto estructural la especificación EG - 2013 del Manual de Carreteras nos indica el valor mínimo requerido para emplear en concretos de resistencia menor igual o mayor a 210 kg/cm². Dichos valores se indican en la tabla 4.8.

Tabla 4. 8. Valores mínimos de equivalente de arena para concreto estructural.

Ensayo	Resistencia de diseño	Requisito
Equivalente de Arena	$F'c \leq 210 \text{ kg/cm}^2$	Mín. 65%
	$F'c > 210 \text{ kg/cm}^2$	Mín. 75%

Fuente: Tabla 503-01, Sección 503 – Concreto estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

La figura 4.11, indica el ensayo para determinar el equivalente de arena en los agregados finos.



Figura 4. 11. Ensayo de equivalente de arena en agregados finos.

Fuente: <http://www.laboratorioevanheslp.com/petresos.html> (Evanhe Constructores S.A. de C.V.)

Finalmente, la finalidad, el alcance y el procedimiento para determinar el equivalente de arena se indica en el ensayo MTC E 114 del Manual de Ensayo de Materiales (2016).

e) Porcentaje de caras fracturadas en agregados gruesos

Se define como el porcentaje en peso de una muestra de agregado grueso compuesta por partículas fracturadas que cumplen con ciertos requisitos de la especificación (Norma I.N.V. E – 227 – 07).

En tal sentido, una cara fracturada es una superficie angular, áspera o quebrada de una partícula de agregado, generada por trituración mecánica o de manera natural. Asimismo, las partículas son fracturadas si tienen al menos una cara fracturada (Norma I.N.V. E – 227 – 07).

(Norma I.N.V. E – 227 – 07). Para considerar una cara fracturada deberá cumplirse que el área proyectada de la cara fracturada sea al menos el 25% del área proyectada (máxima área de la sección transversal) de la partícula, así como poseer bordes cortantes y bien definidos, excluyendo los pequeños (p.E 227 - 1).

Por otro lado, la finalidad técnica del ensayo es incrementar la resistencia al corte a partir del incremento de la fricción entre las partículas en mezclas de agregado ligadas o no ligadas. Otro fin es dar estabilidad a los agregados empleados en tratamientos superficiales y dar mayor fricción y textura en capas superficiales del pavimento (Norma I.N.V. E – 227 – 07).

Para concreto estructural la especificación EG - 2013 del Manual de Carreteras nos indica el valor mínimo requerido. Dicho valor se indica en la tabla 4.9.

Tabla 4. 9. Valor mínimo de partículas fracturadas mecánicamente para concreto estructural.

Ensayo	Norma	Requisito
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara) en agregados gruesos.	MTC E 210	Mín. 60%

Fuente: Tabla 503-03, Sección 503 – Concreto estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

La figura 4.12, indica el ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas mecánicamente en los agregados gruesos.



Figura 4. 12. Ensayo de porcentaje de partículas fracturadas mecánicamente en agregados gruesos.

Fuente: Video de ensayo de Caras fracturadas de los Agregados Gruesos (INV E 227, 2017)

f) Porcentaje de chatas y alargadas en agregados gruesos

Se definen como aquellas partículas del agregado grueso que tienen una relación: longitud/espesor, mayor al valor especificado. En tal sentido, la longitud es la máxima dimensión de la partícula, el ancho es la máxima dimensión al plano perpendicular a la longitud, y el espesor es la máxima dimensión perpendicular a la longitud y el ancho de la partícula (MTC E 223, 2016).

En la especificación EG - 2013 – Sección 503 - Concreto estructural – Tabla 503-03, indica el valor dado por la relación 5 a 1.

Mientras tanto, las partículas chatas y alargadas por su forma, influyen negativamente en la colocación y consolidación de los materiales en el concreto.

Sin embargo, se tiene un dispositivo calibrador proporcional empleado para el ensayo que puede fijar las relaciones de 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5 (MTC E 223, 2016).

Con ello, para concreto estructural la especificación EG – 2013 del Manual de Carreteras nos indica el valor máximo. El cual, se indica en la tabla 4.10.

Tabla 4. 10. Valor máximo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos.

Ensayo	Norma	Requisito
Partículas chatas y alargadas (relación 5:1) en agregados gruesos.	MTC E 223	Máx. 10%

Fuente: Tabla 503-03, Sección 503 – Concreto estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

La figura 4.13, indica el ensayo para determinar el porcentaje de partículas chatas y alargadas en los agregados gruesos.



Figura 4. 13. Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos.

Fuente: Video de ensayo de partículas planas y alargadas (Asociación Mexicana del Asfalto, A.C, 2016)

g) Porcentaje de material más fino que pasa por la malla N° 200 en agregados finos

Se define como el porcentaje en peso de las partículas que luego del lavado con agua pasan el tamiz N° 200 (75 μ m) . Entre las cuales tenemos: arcillas, agregados muy finos y materiales solubles en agua (MTC E 202, 2016).

Por otro lado, si luego del tamizado en seco por el tamiz N° 200 se tiene una cantidad muy grande de material más fino de 75 μ m, el procedimiento debe ser revisado o ver si se trata de una degradación del agregado (MTC E 202, 2016).

El concreto estructural a través de la especificación EG – 2013 del Manual de Carreteras nos indica el valor máximo, dado en la tabla 4.11.

Tabla 4. 11. Porcentaje máximo de material fino que pasa el tamiz N° 200 en agregados finos para concreto estructural.

Ensayo	Norma	Requisito
Material que pasa el tamiz de 75 μ m (N° 200) en agregados finos.	MTC E 202	Máx. 3.0%

Fuente: Tabla 503-01, Sección 503 – Concreto estructural. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

La figura 4.14, muestra el ensayo para determinar el porcentaje de partículas que pasan el tamiz N° 200 en los agregados finos.



Figura 4. 14. Ensayo del material más fino que pasa por la malla N° 200 por lavado con agua en agregados finos.

Fuente: Video de ensayo de material más fino que pasa por la malla N° 200 (Tecnología del concreto ASTM-C117, 2014)

4.3 EL AGUA Y SUS ANÁLISIS

4.3.1 Agua para el concreto

Es un componente muy importante en la preparación del concreto, puesto que influye en la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido (Abanto, 2009).

En tal sentido, el agua deberá ser limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que afecten al concreto o el acero (Abanto, 2009).

Sin embargo, debemos estudiar la intervención del agua en la reacción química con el material cementante (cemento), para la formación del gel. El cual resulta de la reacción química del cemento con el agua, durante el proceso de hidratación (Torre, 2004).

Dicho gel constituye una aglomeración porosa de partículas sólidamente entrelazadas. En tanto influye en la resistencia mecánica y el módulo de elasticidad del concreto. No obstante, el gel del hidrato de silicato de calcio, es la médula del concreto, ya que define las propiedades de fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional (Torre, 2004).

Conocer la velocidad de reacción del cemento y el agua, permitirá determinar el tiempo de fraguado y endurecimiento. Por ello, la reacción inicial, se requiere que sea lento, durante el transporte y la colocación, y una vez colocado y terminado su endurecimiento sea rápido (Torre, 2004).

Por el contrario, el agua de mar puede emplearse en concretos con las siguientes condiciones:

- Para preparar mezclas de concreto simple.
- En algunos concretos armados, bajo densificación y compactación adecuadas.
- En ningún caso para concreto de elementos pretensados o postensados.
- No emplearse en concretos con acabado superficial de importancia o expuestos.
- Se recomienda emplear un f'_{cr} (diseño) entre 110% y 120% de f'_c (teórico).
- No emplear en concretos de resistencias superiores a 175 kg/cm² a los 28 días.

Además, si el agua de mar se emplea como agua de mezclado, se recomienda que el concreto tenga un máximo de 5% de aluminado tricálcico (C3A), un contenido mínimo de cemento de 350 kg/m³; con relación agua-cemento máximo de 0.50, consistencia plástica, y recubrimiento del acero de refuerzo no menor de 7 cm (Rivva, 2000).

4.3.2 Análisis químico del agua para concreto

El agua a emplearse en el mezclado y curado del concreto debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en las tablas 4.12 y 4.13, provenientes de la especificación técnica EG - 2013 – Manual de Carreteras (2013).

Tabla 4. 12. Requisitos de performance del concreto para el agua de la mezcla.

Ensayo	Límites	Método de ensayo
pH.	5.5 - 8.5	NTP 339.073
Resistencia a compresión mínimo, % del control a 7 días ^A .	90	NTP 339.034
Tiempo de fraguado, desviación respecto al control, horas:minutos ^A .	1 h. más temprano a 1.5 h más tarde.	NTP 339.082

^A Las comparaciones están basadas en proporciones fijas para un diseño de mezclas de concreto representativo con agua cuestionable respecto de una mezcla con agua 100 % potable o agua destilada.

Fuente: Tabla 438-01, Sección 438 – Pavimento de concreto hidráulico. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

Tabla 4. 13. Límites químicos opcionales para el agua de mezclado.

Contaminante	Límite ppm ^A	Método de ensayo
A. Cloruro como Cl ⁻		
1. En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera.	500 ^B	NTP 339.076
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido, o metales diversos, o con formas galvanizadas permanentes.	1.000 ^B	NTP 339.076
B. Sulfatos como SO ₄ ⁼	3.000	NTP 339.074
C. Alcalis como (Na ₂ O+0.658 K ₂ O)	600	ASTM C 114
D. Sólidos totales por masa	50.000	ASTM C 1603

^A ppm es la abreviación de partes por millón.

^B Cuando el productor puede demostrar que estos límites para el agua de mezcla pueden ser excedidos, los requerimientos para el concreto del código ACI 318 regirán. Para condiciones que permiten utilizar cloruro de calcio (CaCl₂), como aditivo acelerador, se permitirá que el comprador pueda prescindir de la limitación del cloruro.

Fuente: Tabla 438-02, Sección 438 – Pavimento de concreto hidráulico. “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG - 2013). Manual de Carreteras (2013)

No obstante, para aguas no potables los análisis químicos son necesarios para comparar sus resultados con los valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a emplearse en el concreto (Abanto, 2009).

En general, el agua potable se considera adecuada y puede emplearse sin realizar los ensayos químicos indicados en las tablas 4.12 y 4.13, para el mezclado y curado de concretos de alta calidad (Sección 420 – Mortero asfáltico, especificación EG – 2013, Manual de Carreteras (2013)).

4.4 CONTENIDO DE AIRE EN LA MEZCLA DE CONCRETO

En principio están presentes de manera inevitable en las mezclas de concreto, y ocupa un volumen expresado en porcentaje, dentro de la dosificación de los componentes del concreto. En tal sentido, el aumento del contenido de aire, implicará una reducción en la resistencia del concreto (Abanto, 2009).

Generalmente, el contenido de aire en la proporción de las mezclas de concreto está dado del 1% al 3% del volumen absoluto del concreto (Pasquel, 1998 - 1999).

El método de diseño de mezclas publicado por el Instituto Americano del Concreto (ACI), nos da una aproximación del contenido de aire atrapado en la mezcla en función al tamaño máximo de los agregados gruesos. Para el caso de concretos sin aire incorporado, va desde T.M. de 3/8" a 6" para 3% a 0.2% de cantidad de aire atrapado, respectivamente. En concretos con aire incorporado, desde el T.M. de 3/8" a 6" para 8% a 3% para el contenido total de aire, respectivamente (Abanto, 2009).

El contenido total de aire para concretos con aire incorporado, se genera de manera intencional por razones de durabilidad en las estructuras que están expuestas a congelación y deshielo, así como aquellas expuestas al agua de mar o sulfatos (Abanto, 2009).

4.5 ADITIVOS PARA EL CONCRETO

Son materiales orgánicos e inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o después de formada la pasta de cemento, con la finalidad de modificar el proceso de hidratación, el endurecimiento y la estructura interna del concreto (Pasquel, 1998 - 1999).

No obstante, los aditivos se clasifican de la siguiente manera:

- a) Plastificante-reductor de agua: mejora la consistencia del concreto.
- b) Retardador: Aumenta el tiempo de fraguado del concreto.
- c) Acelerador: Disminuye el tiempo de fraguado y desarrollo de la resistencia inicial del concreto.
- d) Plastificante y retardador: Reduce el agua de mezclado, logra la resistencia requerida y retarda el fraguado del concreto.
- e) Plastificante y acelerador: Reduce el agua de mezclado, logra la resistencia requerida, acelera el fraguado y desarrollo de la resistencia del concreto.
- f) Incorporadores de aire: Incrementa la resistencia del concreto frente a la congelación y deshielo.
- g) Adhesivos: Mejora la adherencia concreto-refuerzo.
- h) Impermeabilizantes e inhibidores de corrosión.

Los aditivos que se añaden durante el mezclado buscan del concreto fresco lo siguiente:

- Disminuir su costo de operación.
- Mejorar la trabajabilidad con o sin modificación del contenido de agua.
- Control o aumento del asentamiento.
- Reducción o prevención de la segregación.
- Modificar la velocidad de exudación.
- Acelerar o retardar el fraguado inicial.
- Facilitar la colocación y/o bombeo de las mezclas.

Por otro lado, los aditivos en el concreto endurecido modifican las siguientes propiedades:

- Retardar el desarrollo del calor de hidratación durante el endurecimiento inicial.
- Acelerar la velocidad de desarrollo de la resistencia inicial y/o final.
- Aumentar la durabilidad y resistencia en condiciones severas.
- Reducir su permeabilidad.
- Controlar la expansión álcali-agregados.
- Mejorar la adherencia concreto-acero y concreto antiguo-concreto fresco.
- Aumentar su resistencia al impacto.
- Controlar la corrosión de los elementos metálicos embebidos en el concreto.

Es importante indicar que, ningún aditivo puede corregir las deficiencias de una mezcla de concreto mal diseñada (Abanto, 2009).

Finalmente, para fabricar volúmenes importantes de concretos estructurales, la incorporación de aditivos en la dosificación de la mezcla resulta un factor económico, puesto que, permite disminuir ligeramente la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto, con ello se reduce el costo final de producción. Además, de mejorar las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido.

4.6 ADICIONES MINERALES

Vásquez (2015). Se definen como aquellos materiales inorgánicos que son incorporados al cemento o al concreto en diferentes porcentajes, con el fin de mejorar sus propiedades (p.2).

No obstante, la incorporación de las adiciones minerales a la mezcla de concreto tiene como propósito reaccionar en la hidratación del cemento con el hidróxido de calcio resultante, y formar la tobermorita adicional, reduciendo los poros capilares e incrementando la resistencia mecánica de la pasta (Torre, 2007).

En tanto, las ventajas que proporcionan las adiciones minerales son:

- Mejorar las propiedades de durabilidad, reducir el calor de hidratación e incrementar la resistencia.
- Ahorrar energía no renovable.
- Proteger el medio ambiente de agentes químicos contaminantes como: CO₂, SO₂ y NO₂.
- Usar los subproductos de la industria.

Además, controlar la reactividad álcali-sílice, dar alta resistencia al ataque químico (cloruros, sulfatos y agua de mar), obtener estructuras densas de baja permeabilidad, y ofrecer baja resistencia inicial en el concreto (Torre, 2007).

A su vez, las adiciones minerales son clasificadas en:

- a) **Puzolanas:** Material silíceo o sílico-aluminoso, que finamente dividido y en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio para formar compuestos de propiedades hidráulicas.
Pueden ser: naturales (cenizas volcánicas, tobas volcánicas y tierras de diatomeas), o artificiales (cenizas volantes, arcillas activadas térmicamente, microsílíce y cenizas de cáscara de arroz).
- b) **Escorias de alto horno:** Producto no metálico consistente, que contiene silicatos o aluminio-silicatos de calcio con impurezas de hierro obtenidas del estado fundido en los altos hornos y posee propiedad hidráulica latente o potencial cuando se activa de manera adecuada con el agua de la mezcla de concreto (Gonzales, 2015).
- c) **Fillers:** Son adiciones generalmente en proporción limitada que se añade al clinker del cemento. No obstante, posee una acción física dispersante que facilita y acelera una completa hidratación del cemento y una acción epitáxica (formación de una capa cristalina uniforme) en el concreto (Calleja, 1983).

En definitiva, cuando se desea diseñar concretos de resistencia superiores a los 700 kg/cm², es necesario el empleo de una adición mineral y un aditivo superplastificante, para poder trabajar con una relación agua/cemento menor igual a 0.40. Tras ello, contribuir en la durabilidad del concreto para un mejor desempeño frente a los agentes agresivos, físicos o químicos (Torre, 2007).

CAPÍTULO V

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

5.1 FLUIDEZ Y CONSISTENCIA

Se define como el grado de humedecimiento de la mezcla, que depende de la cantidad de agua empleada para la fabricación del concreto (Abanto, 2009).

Está relacionada pero no es sinónimo de trabajabilidad. Por ello, una mezcla trabajable para pavimentos puede tener una elevada consistencia que la hace difícil colocar en columnas o placas. Por el contrario, una mezcla de consistencia adecuada para vigas y columnas puede resultar excesivamente trabajable en estructuras masivas (Rivva, 2000).

En tal sentido, la consistencia de una mezcla de concreto depende de dos componentes principales:

- Contenido de agua.
- La granulometría y características físicas de los agregados.

Generalmente, la consistencia se mide por el grado de asentamiento de la mezcla, para menor asentamiento la mezcla resulta más seca y en consistencias fluidas, se tiene mayor asentamiento (Rivva, 2000).

5.1.1 Influencia de los agregados

Si para un mismo contenido de pasta, se emplea partículas de agregados gruesos de forma redondeada o de textura superficial suavizada, la consistencia tiende a disminuir (Rivva, 2000).

Por el contrario, en partículas recubiertas de polvo, costras o incrustaciones superficiales aumentan la consistencia debido a una mayor demanda de agua, disminuyendo la trabajabilidad, luego de tomar el agregado el agua de la mezcla (Rivva, 2000).

Además, los agregados secos o altamente porosos, pueden aumentar la consistencia de la mezcla haciéndola más seca, por la reducción del agua disponible en la mezcla (Rivva, 2000).

5.1.2 Importancia de la granulometría de los agregados

Lo gradación adecuada de los agregados gruesos y finos (ASTM C 33), permitirá que sus proporciones logren mezclas de consistencia adecuadas (Rivva, 2000).

En tanto, el efecto de los agregados finos respecto de los agregados gruesos es mayor, debido a su mayor superficie específica. Sin embargo, para mezclas de alto contenido de material cementante, el contenido del agregado fino puede reducirse significativamente y cuanto mayor sea el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia tiende a disminuir (Rivva, 2000).

5.1.3 Ensayo de consistencia

Llamado prueba de revenimiento o “slump test”, es aplicado para saber el grado de consistencia de un concreto fresco. La cual fue desarrollada por Duft Abrams, adoptada por la Norma ASTM en 1921 y finalmente revisada en 1978 (Abanto, 2009).

El ensayo consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, para medir el asentamiento de la mezcla luego de desmoldado. (Abanto, 2009).

El comportamiento del concreto fresco, consiste en la capacidad de la mezcla para adaptarse al encofrado o el molde con facilidad, manteniéndose homogénea con un mínimo de vacíos. La cual se modifica con variaciones en el contenido de agua de la mezcla (Abanto, 2009).

El equipo empleado para el ensayo de consistencia es:

- Tronco de cono metálico (Bases de 10 y 20 cm de diámetro, altura 30 cm).
- Plancha de acero galvanizado (espesor mín. 1.5 mm).
- Barra de acero liso (5/8" de diámetro, 60 cm de longitud y punta semiesférica).

La finalidad del ensayo es medir la diferencia de altura del molde y la altura de la mezcla fresca, denominado slump. (Abanto, 2009).

Se recomienda que el tiempo desde el inicio hasta el fin del ensayo no sea más de 2 minutos, y el desmolde no debe durar más de 5 segundos (Abanto, 2009).

El ensayo del asentamiento de concreto fresco con el cono de Abrams, está definido en la norma ASTM C 143 (Gastañaduí).

La figura 5.1, indica la medición del asentamiento a través del ensayo de consistencia en mezclas de concreto en estado fresco.



Figura 5. 1. Ensayo de consistencia, para medir el asentamiento (slump) en las mezclas de concreto.

Fuente: Determinación del asentamiento del hormigón fresco. HORMISA - Hormigón elaborado – Misiones, Argentina (2017)

Las mezclas de concreto según su consistencia se clasifican de acuerdo a la tabla 5.1, dada a continuación:

Tabla 5. 1. Consistencias en las mezclas de concreto.

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	MÉTODO DE COMPACTACIÓN
Seca	0 - 2"	Poco trabajable	Vibración Normal
Plástica	3 - 4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: Tabla 1.2.2., Capítulo VI - Propiedades del concreto. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

Finalmente, se tienen algunas limitaciones para la realización del ensayo, las cuales son (Abanto, 2009):

- Sólo es aplicable en concretos plásticos con asentamiento normal (adecuado contenido de agua).
- No es conveniente para concretos sin asentamiento (muy alta resistencia).
- No se recomienda para contenidos de agua menores de 160 lts/m³ de mezcla.
- En concretos con contenido de cemento menor de 250 kg/m³.
- Concretos donde el tamaño máximo del agregado grueso sea superior a 2 1/2”.

5.2 TRABAJABILIDAD

Se define como la facilidad que tiene la mezcla de concreto para ser mezclada, transportada, colocada, compactada y acabada sin darse segregación ni exudación en el proceso. No obstante, no se tiene una prueba específica para su cuantificación, sin embargo, es importante analizar e interpretar el resultado del ensayo de consistencia (Abanto, 2009)

En tal sentido, es muy importante tener una mezcla trabajable que permita ocupar todos los espacios alrededor del refuerzo y dentro del encofrado, a partir de una masa homogénea sin la separación de sus componentes (Rivva, 2000).

Las características, granulometría y proporción de los agregados gruesos y finos, permiten regular la cantidad de agua para producir un concreto trabajable (Rivva, 2000).

La regulación de la proporción para la mezcla de los agregados se indica en la recomendación ACI 211.1, donde el volumen suelto del agregado grueso estimado depende del peso unitario seco varillado. Asimismo, el factor del agregado grueso, depende de su tamaño máximo y el módulo de fineza del agregado fino (Rivva, 2000).

Entre todos los porcentajes del agregado fino para la mezcla, se encuentra un valor óptimo de tal manera, que requiere la menor cantidad de agua para la trabajabilidad requerida y un margen de seguridad que cubra posibles casos desfavorables (Rivva, 2000).

En general, mientras más se incrementa la angulosidad de las partículas de los agregados gruesos, menor es la trabajabilidad de la mezcla. Asimismo, las partículas chatas y alargadas, cuando su porcentaje es moderado (menor igual al 5%), no influye en la trabajabilidad del concreto (Rivva, 2000).

Por último, se tiene que la absorción de los agregados y la trabajabilidad están relacionados respecto de su porosidad, puesto que, al tomar más agua de la mezcla, tiende a aumentar la consistencia y a disminuir la trabajabilidad (Rivva, 2000).

La figura 5.2, indica un ejemplo de trabajabilidad de una mezcla de concreto en elementos estructurales (vigas y losa de cimentación).

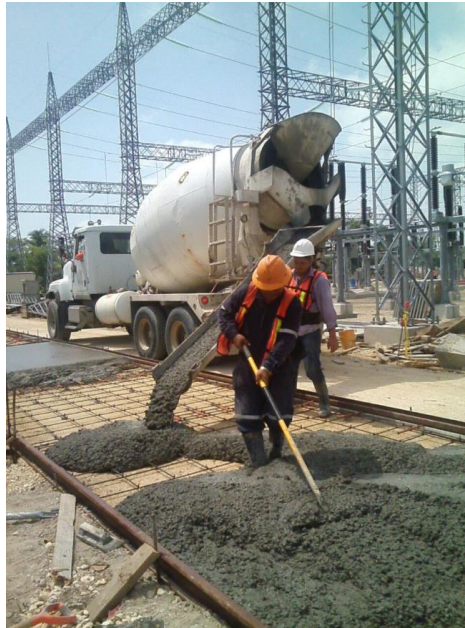


Figura 5. 2. Trabajabilidad en las mezclas de concreto.

Fuente: Una mezcla resistente para tu obra. ARCOSA - Concretos – Tabasco, México (2016)

5.3 SEGREGACIÓN

Se define como la descomposición de la mezcla de concreto en sus componentes, originando la separación del agregado grueso y el mortero (Abanto, 2009).

En un fenómeno muy perjudicial, puesto que, se generan cangrejas, bolsones de piedra y capas arenosas en los elementos de concreto (Abanto, 2009).

En tal sentido, los agregados más gruesos tienden a separarse del mortero, debido a que pueden asentarse más rápido que las partículas finas (Rivva, 2000).

En consecuencia, la segregación en el concreto, se debe a:

- El valor de la gravedad específica del agregado grueso es mucho mayor con relación al valor del agregado fino.
- El empleo de agregado grueso con un tamaño máximo mayor respecto a las dimensiones del elemento estructural.
- En concreto pesados el riesgo de segregación es mayor, debido a la alta densidad del agregado grueso.
- En mezclas de mayor consistencia (más húmedas) (Abanto, 2009).
- Disminuye con el aumento de cemento o agregado fino (Abanto, 2009).
- El excesivo vibrado de la mezcla (Abanto, 2009).
- Cuando se coloca desde una altura mayor de 0.50 m (Abanto, 2009).
- Proceso inadecuado de manipulación y colocación de la mezcla (Abanto, 2009).

La figura 5.3, indica un ejemplo de segregación del concreto colocado para un elemento estructural (columna).



Figura 5. 3. Segregación de concreto colocado en columna.

Fuente: Hormigón segregado en columna. Mundo del Hormigón. Madrid, España (2017)

5.4 EXUDACIÓN

Es el ascenso de una parte del agua de la mezcla de concreto hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de sus sólidos (los agregados).

Dicho proceso se inicia después de colocada y consolidada la mezcla de concreto en el encofrado hasta el inicio del fraguado, donde sus sólidos presentan máxima consolidación (Rivva, 2009).

Una de sus causas es la deficiente dosificación de la mezcla, debido a un exceso de contenido de agua, uso de aditivos, y mayor temperatura que aumenta la velocidad de exudación (Abanto, 2009).

En el caso de una exudación excesiva, se debe analizar la granulometría y angularidad del agregado fino. Por ello, la exudación se puede controlar con un agregado fino adecuadamente gradado de tañamos menores en proporciones adecuadas (Rivva, 2000).

Además, podemos disminuir la exudación al aumentar la superficie específica con una combinación adecuada de arenas gruesas y finas (Rivva, 2000).

La prueba estándar para medir la exudación se indica en la norma ASTM C-232 (Pasquel, 1998-1999).

La figura 5.4, indica un ejemplo de exudación tras la colocación y consolidación de la mezcla de concreto.



Figura 5. 4. Exudación en la superficie de una losa de concreto consolidado.

Fuente: Sika Informaciones Técnicas, Curado del Concreto, ISSN -0122-0594. Construcción (Sika Colombia S.A., 2009)

5.5 TEMPERATURA

La temperatura del concreto depende de la temperatura y el calor específico de sus componentes. No obstante, los agregados al tener el mayor volumen en la mezcla de concreto influyen en la temperatura del concreto (Rivva, 2000).

Por ello, en climas cálidos es necesario un concreto muy frío enfriando los agregados por inmersión en agua fría (recomendación ACI 305R). Por el contrario, en climas fríos es necesario el calentamiento de los agregados para obtener la temperatura deseada del concreto (recomendación ACI 306R) (Rivva, 2000).

En Piura que posee un clima cálido en gran parte del año, es conveniente preparar las mezclas de concreto en las primeras horas del día y con agua fresca.

La determinación de la temperatura de mezclas de concreto está dada en la norma ASTM C 1064 (Gastañadú).

La figura 5.5, indica la temperatura que posee la mezcla de concreto preparada, antes de su colocación.



Figura 5. 5. Temperatura de la mezcla de concreto preparada.

Fuente: Wikipedia, Archivo: Control de revenimiento y temperatura del concreto a colocar(2).jpg (2013)

5.6 PESO UNITARIO

Es la relación entre el volumen de sólidos y el volumen total de una unidad cúbica de concreto.

No obstante, representa el peso varillado de una muestra representativa de mezcla de concreto, expresado en kilos por metro cúbico (Rivva, 2000).

El peso unitario depende de la cantidad de aire de la mezcla, proporción de sus componentes y propiedades del agregado para el requerimiento de agua. Asimismo, si la gravedad específica de la pasta es menor que la de los agregados, su peso unitario incrementa con la reducción del contenido de la pasta (Rivva, 2009).

Normalmente, el peso unitario del concreto varía de 2240 a 2460 kg/m³. Sin embargo, un cambio en el peso unitario compactado fresco del concreto podría generar cambios en los requisitos de su desempeño (Gastañadú).

La norma ASTM C 138 describe el ensayo normalizado para determinar el peso unitario, rendimiento y contenido de aire en el concreto (Abanto, 2009).

El rendimiento del concreto se define como la cantidad de mezcla fresca obtenida de la dosificación conocida de sus componentes. En tal sentido, la base para su cálculo se indica en la norma ASTM C 94, “Especificaciones para el concreto premezclado”, donde el rendimiento de una mezcla fresca se determina del cociente entre el peso total de los materiales y el peso unitario promedio del concreto (NRMCA, EE.UU., traducido en convenio con la Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado).

En dicho contexto, el rendimiento del concreto endurecido puede ser alrededor del 2% de su volumen en estado fresco, por causas de disminución del contenido de aire, asentamiento y exudación de la mezcla, reducción en volumen del cemento y el agua y la retracción por secado. Además, se debe evitar rendimientos inferiores, mediante un incremento del 4 al 10% de la cantidad inicialmente calculada, debido al incremento potencial del espesor (NRMCA, EE.UU., traducido en convenio con la Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado).

La figura 5.6, muestra el procedimiento del ensayo para determinar el peso unitario compactado fresco del concreto, y su rendimiento.



Figura 5. 6. Ensayo de peso unitario del concreto fresco.

Fuente: Video: Peso unitario del concreto ASTM C138. Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón (INECYC, 2017)

CAPÍTULO VI

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Es el máximo esfuerzo que puede soportar el concreto sin romperse. No obstante, se requiere como un parámetro en el control de calidad de los concretos (Rivva, 2000).

Por otro lado, la resistencia a la flexión del concreto suele ser utilizada para pavimentos, mientras que la resistencia al corte no es solicitada (Rivva, 2000).

El proceso se lleva a cabo a partir de la toma de testigos de concreto durante la etapa de mezclado y luego de un periodo de curado son sometidos a pruebas de compresión simple (Abanto, 2009).

La resistencia a la compresión se realiza por la facilidad de sus ensayos y porque la mayoría de las demás propiedades del concreto mejoran al incrementar su resistencia (Abanto, 2009).

En tanto, la resistencia a la compresión simple del concreto (F'_{cp}) debe ser alcanzada como mínimo a los 28 días de elaborado y curado.

La resistencia en el concreto depende de los siguientes factores:

- **Relación agua-cemento (a/c):** Afecta la resistencia de los concretos con o sin aire incluido, por lo cual, el aumento de la relación a/c genera disminución en la resistencia final (figura 6.1).

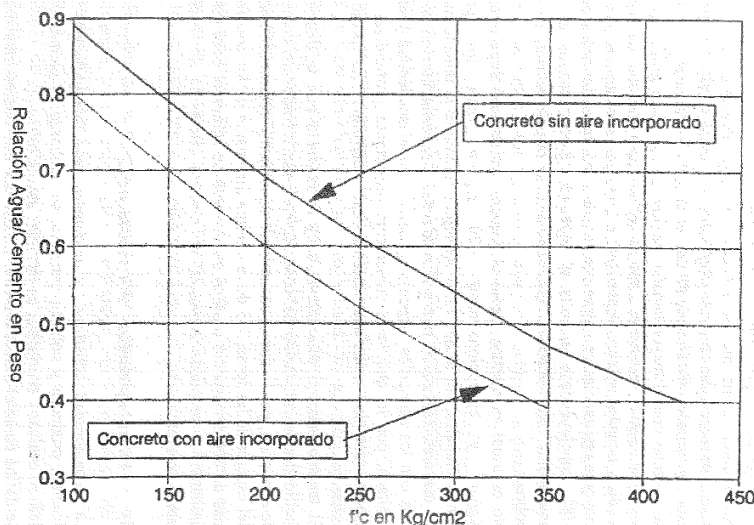


Figura 6. 1. Resistencia a la compresión simple del concreto vs relación agua-cemento.

Fuente: Fig. 9.2-Resistencia en compresión vs relación agua/cemento en peso.

Cap.9 Diseño de mezclas de concreto normal. Tópicos de tecnología del concreto. Segunda edición (Pasquel, 1998-1999).

- **Contenido de cemento:** Influye de manera directa, pues a menor contenido de cemento se tendrá una menor resistencia en el concreto.
- **Tipo de cemento:** La velocidad del desarrollo de la resistencia del concreto depende del tipo de cemento utilizado en la mezcla.
- **Condiciones de curado:** Mantener la humedad del concreto durante su curado, influye en el incremento de la resistencia con el tiempo.

Por otro lado, la influencia de las propiedades de los agregados sobre la resistencia del concreto, se indica a continuación:

a) Dureza de los agregados

La dureza de los agregados está relacionada con el desgaste por erosión o abrasión (Rivva, 2000).

La abrasión es determinada con el Ensayo de Abrasión de Los Ángeles, dado en la norma ASTM C 131. Asimismo, es obligatorio conocer su valor en los casos de pavimentos y obras hidráulicas, en el caso de edificaciones es necesario en elementos de concreto armado expuestos a procesos de desgaste (Rivva, 2000).

Tras ello, el empleo de agregados de dureza baja, implica un incremento del contenido de agua, aumentando la relación agua-cemento, y consecuente reducción de la resistencia del concreto (Rivva, 2000).

b) Resistencia de los agregados

La resistencia de los agregados debe ser tal que permita desarrollar toda la resistencia potencial de la masa cementante (Rivva, 2000).

Por ello, los agregados que poseen una buena interconexión de sus granos pueden poseer una mayor resistencia y mejores propiedades elásticas (Rivva, 2000).

La resistencia de los agregados se mide con los siguientes ensayos:

- Trituración en muestras de roca originaria.
- Capacidad de trituración de la masa de agregado.
- Comportamiento del agregado en el concreto.

Consecuencia de ello, si la resistencia a la compresión del concreto es menor y las partículas resultan fracturadas tras la rotura del testigo, entonces la resistencia del agregado es menor a la mezcla preparada (Rivva, 2000).

c) Textura superficial

Depende de la dureza, tamaño del grano, porosidad y la fuerza para darle suavidad o rugosidad a la superficie del agregado (Rivva, 2000).

La rugosidad superficial de los agregados es muy importante en la resistencia del concreto, puesto que definen su capacidad de adherencia con la pasta, por ello resulta mayor cuanto más rugosos sean (Rivva, 2000).

Por el contrario, las bajas resistencias en concretos preparados con agregados de textura suave pueden mejorarse con la reducción de la relación agua-cemento y obtener una mezcla trabajable (Rivva, 2000).

d) Perfil del agregado

El perfil en los agregados puede ser redondeado o angular. Los agregados de perfil redondeado permiten reducir el porcentaje de vacíos en la masa de concreto, y los de perfil angular requieren más agua en las mezclas, por ello es necesario una adecuada dosificación (Rivva, 2000).

En concretos de alta resistencia se utilizan agregados de perfil angular, ya que producen resistencias a la compresión más altas respecto al uso de agregados de perfil redondeado, donde ambos poseen similar granulometría (Rivva, 2000).

En partículas de perfil elongado (chatas y alargadas) el efecto de la resistencia del concreto es negativa y aumenta el costo de fabricación, puesto que la mezcla necesitará mayor contenido de cemento (Rivva, 2000).

e) Tamaño máximo del agregado

De acuerdo a los estudios se deduce que los cambios en el tamaño máximo generan efectos opuestos, indicados a continuación:

- Al incrementar el tamaño máximo, el contenido de agua disminuye, reduciendo la relación agua-cemento y mejorando la resistencia hasta cierto rango de tamaño.
- La inclusión de partículas de mayor tamaño es perjudicial en la resistencia del concreto, porque disminuye tanto la resistencia por adherencia y la resistencia al corte en su sección transversal.

En definitiva, para incrementos en tamaño máximo del agregado hasta 3/4", la relación agua-cemento disminuye y la resistencia del concreto aumenta. Por el contrario, si el tamaño máximo es mayor de 3/4" se reduce la relación agua-cemento, pero al tener más cantidad de tamaños mayores, la resistencia del concreto decrece (Rivva, 2000).

f) Resistencia por adherencia pasta-agregado

La capacidad de la adherencia pasta-agregado, depende de la textura superficial, composición mineral, tamaño, perfil y limpieza del agregado (Rivva, 2000).

En tal sentido, la pasta de la mezcla se adhiere mejor a una superficie rugosa respecto de una superficie suavizada. Por ello, la textura superficial es más importante, de los agregados gruesos que de los agregados finos (Rivva, 2000).

Unas de las razones de la relación entre la capacidad de adherencia y el tamaño del agregado se da los cambios dimensionales por el endurecimiento de la pasta, el cual da origen a esfuerzos internos entre la pasta y los agregados que se oponen su movimiento. No obstante, cuando mayor es la superficie, mayores son los esfuerzos y menor es la capacidad de adherencia (Rivva, 2000).

En consecuencia, conocer que un mayor contenido de pasta (alto factor de cemento), tiende a mejorar la relación capacidad de adherencia-tamaño máximo del agregado, obteniendo concretos de muy alta resistencia (Rivva, 2000).

Por otro lado, los equipos y herramientas usados para la toma de testigos de concreto son los siguientes:

- Carretilla tipo Buggy para muestreo.
- Moldes cilíndricos de acero (diámetro 6" y longitud 12").
- Barra compactadora de acero liso (diámetro 5/8" y longitud 30 cm).
- Cuchara metálica para el muestro.
- Plancha metálica de albañilería.
- Martillo de goma.

La figura 6.2, indica el ensayo a la compresión simple del testigo de concreto, a través del equipo de compresión (prensa de rotura de probetas).



Figura 6. 2. Ensayo a la compresión simple del concreto.

Las normas que describen cada uno de los ensayos involucrados que nos permitirá conocer la resistencia a la compresión del concreto, se indican en la tabla 6.1.

Tabla 6. 1. Normas para la elaboración, curado y resistencia del concreto.

ENSAYO	NORMAS TÉCNICAS	FINALIDAD
Elaboración y curado de especímenes de concreto realizados en campo.	NTP 339.033 y ASTM C 31	Elaborar, curar, proteger y transportar testigos de concreto obtenidos en campo para los ensayos de resistencia.
Resistencia a la compresión en especímenes de concreto endurecido.	NTP 339.034 y ASTM C 39	Determinar la resistencia a la compresión simple del concreto.

La heterogeneidad y naturaleza discontinua del concreto, son favorables, puesto que aportan cuasi-ductibilidad y mecanismos de disipación de energía necesarios para liberar energía en un material sometido a cargas estáticas y dinámicas (Portugal, 2007).

En definitiva, la resistencia a la compresión del concreto se basa en la resistencia e interacción de sus fases constituyentes, tales como: la resistencia de la pasta hidratada y endurecida (matriz), la resistencia de sus agregados y la resistencia de su interfase matriz - agregados (Portugal, 2007).

6.2 DURABILIDAD

Se define como la capacidad de resistir la intemperie, la acción de productos químicos y el desgaste, durante el periodo de servicio del concreto (Abanto, 2009).

En el caso de la intemperie, se consideran los ciclos de congelación y deshielo. No obstante, puede mejorarse con la inclusión de aire del 2 al 6% con un agente inclusor o aplicando un revestimiento resistente a la superficie del concreto (Abanto, 2009).

Los agentes químicos (ácidos inorgánicos, sulfatos de calcio, sodio, hierro, etc.), deterioran el concreto. En este sentido, para la resistencia a los sulfatos es mejor usar cemento Portland tipo V. Además, con un concreto denso de alta resistencia, se otorga resistencia al desgaste en los concretos (Abanto, 2009).

La durabilidad también se debe a causas internas en el concreto, tales como: reacción álcali-agregado, cambios en su volumen debido a propiedades térmicas entre los agregados y la pasta de cemento y la permeabilidad del concreto (Portugal, 2007).

En tanto, la permeabilidad tiene una función muy importante en la calidad del concreto, puesto que, indicará la vulnerabilidad del concreto a los agentes externos, en tanto que para ser durable debe ser relativamente impermeable (Portugal, 2007).

En la figura 6.3, se aprecia los tipos de deterioro que puede sufrir el concreto expuesto a un ambiente marino.

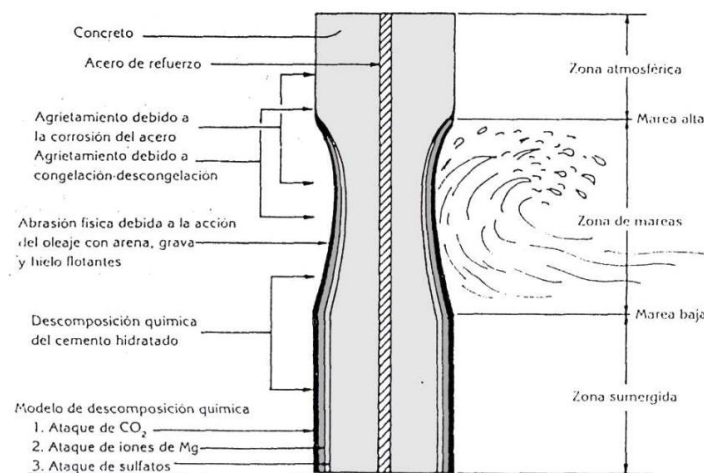


Figura 6. 3. Deterioro del concreto en un ambiente marino.

Fuente: Tecnología del concreto de alto desempeño. Fig. 5.19. Representación del deterioro de un espécimen de concreto expuesto en un medioambiente marino (Portugal, 2007)

Tras ello, los factores que influyen en la durabilidad del concreto, se clasifican en 5 grupos (Pasquel, 1998-1999):

a) Congelamiento y descongelamiento

Cuando la temperatura desciende hasta provocar el congelamiento del agua contenida en los poros capilares del concreto, propiciando esfuerzos internos en el concreto que generan su fisuración continua y desintegración (Pasquel, 1998-1999).

Sin embargo, al haber descongelamiento se liberan tensiones y tras repetirse dicho ciclo se llega a la rotura por fatiga de la estructura de la pasta o quizá se tenga al principio (Pasquel, 1998-1999).

b) Ambiente químicamente agresivo

En general los concretos son químicamente inalterables a los agentes químicos agresivos cuando se encuentra en su estado.

No obstante, para tener una agresión el agente químico deberá estar en solución con cierta concentración, ingresar a la estructura de la pasta y mantenerse por un tiempo suficiente para que se produzca la reacción (Pasquel, 1998-1999).

En tal sentido, existen factores generales que pueden aumentar el deterioro del concreto, tales como: temperaturas elevadas, velocidades de flujo altas, elevada absorción y permeabilidad, curado inadecuado, ciclos de humedad y secado (Pasquel, 1998-1999).

c) Abrasión

Dada por facilidad de una superficie de concreto al desgaste por roce y fricción (Pasquel, 1998-1999).

Una de las causas más comunes es por condiciones de servicio, debido al tránsito peatones y vehículos por veredas y losas, el viento cargado de partículas sólidas y el desgaste por el flujo de agua continuo fricción (Pasquel, 1998-1999).

Sin embargo, la abrasión no genera problemas estructurales, pero de forma indirecta ayudará los ataques por agresión química y corrosión en caso de estructuras hidráulicas (Pasquel, 1998-1999).

d) Corrosión de metales en el concreto

El concreto es un material alcalino y de alta resistividad eléctrica, con lo cual resulta un buen protector de la corrosión. Por el contrario, si se alteran dichas condiciones, se tendrá un proceso electroquímico de corrosión, generando óxidos de hierro que aumentan el volumen inicial del acero de refuerzo, donde sus esfuerzos internos hincharán y destruirán el concreto (Pasquel, 1998-1999).

e) Reacciones químicas en los agregados

Dependen principalmente de la reacción sílice-álcalis y la reacción carbonatos-álcalis (Pasquel, 1998-1999).

La reacción sílice-álcalis se debe a algunos agregados del tipo ópalo, calcedonia, cuarzo andesita y dacita que reaccionan con los hidratos de calcio del cemento para generar compuestos expansivos. No obstante, el gel expansivo originado en la interfase agregado-pasta, rompe la estructura interna del concreto, notándose la fisuración y desintegración del elemento (Pasquel, 1998-1999).

Y la reacción carbonatos-álcalis se produce en ciertas piedras calcáreas dolomíticas con un proceso de fisuración similar a la reacción sílice-álcalis (Pasquel, 1998-1999).

En la figura 6.4, se muestra una estructura de concreto sometido a ciclos de congelación y descongelación debido a las temperaturas extremas del ambiente.



Figura 6. 4. Deterioro del concreto por ciclos de hielo-deshielo.

Fuente: MÁS QUE INGENIERÍA. El blog de los futuros ingenieros. Los ciclos hielo-deshielo en el hormigón (2015)

6.3 IMPERMEABILIDAD

Se define como la propiedad del concreto que, al reducir la cantidad de agua en la mezcla, se tiene menor cantidad de poros en el concreto, volviéndolo menos permeable. No obstante, luego de evaporarse el exceso de agua genera vacíos en masa de concreto endurecida, donde el agua puede ingresar cuando se tienen poros interconectados (Abanto, 2009).

Por ello, la inclusión de aire y un curado adecuado, ayudan a aumentar la impermeabilidad en los concretos (Abanto, 2009).

La permeabilidad del concreto, no sólo depende de su porosidad, sino del tamaño, distribución y continuidad de los poros. Con lo cual, la porosidad capilar controla la permeabilidad de la pasta de cemento (Portugal, 2007).

Además, la permeabilidad de la pasta de cemento varía con el progreso de su hidratación. En la pasta fresca, el flujo de agua es controlado por la dimensión, forma y concentración de granos iniciales de cemento, y disminuye rápidamente debido a la formación del volumen bruto del gel (Portugal, 2007).

En general, mientras mayor sea la resistencia de la pasta menor será su permeabilidad (Portugal, 2007).

Finalmente, es probable incorporar la adición mineral microsilíce, para obtener morteros y concretos altamente impermeables, debido a la disminución del número de poros grandes de la relación cemento-microsilíce (Portugal, 2007).

CAPÍTULO VII

CURADO Y DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

7.1 CURADO DEL CONCRETO

Se define como la etapa de humedecimiento del concreto por varios días después de su colocación y consolidación, con el propósito de continuar la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento) (Abanto, 2009).

Para lo cual, en los 7 primeros días de vaciado el concreto, el curado logra desarrollar el 70% de su resistencia de diseño. La resistencia final (el 30% o más de su resistencia) depende de las condiciones de humedad y temperatura durante el periodo inicial. No obstante, en caso de congelación del concreto fresco, llevará a disminuir su resistencia en un 50% (Abanto, 2009).

Asimismo, es conveniente que el curado de los elementos expuestos al ambiente (losa de techo y losa apoyada en el terreno) se inicie pronto, tras el acabado del concreto (Manual de Sencico, 2014).

Si el concreto no es curado o es curado deficientemente, su resistencia se reducirá hasta un 40% respecto de un concreto curado adecuadamente. Además, aparecerán fisuras y resultará un concreto de baja calidad (Manual de Sencico, 2014).

En caso de concretos elaborados con cementos de alta resistencia inicial, su periodo de curado podría reducirse hasta en la mitad (Abanto, 2009).

En la mayoría de las especificaciones, el periodo máximo exigido para el curado con agua es de 14 días (Pasquel, 1998-1999).

La figura 7.1, muestra cómo influye el curado en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto, donde en los primeros 7 días se da el mayor desarrollo de su resistencia, luego continua el crecimiento un poco menor hasta los 28 días, y finalmente sigue incrementando su resistencia en menor proporción. Tras ello, la importancia del curado continuo en el concreto influye directamente en el desarrollo completo de la resistencia de los concretos.

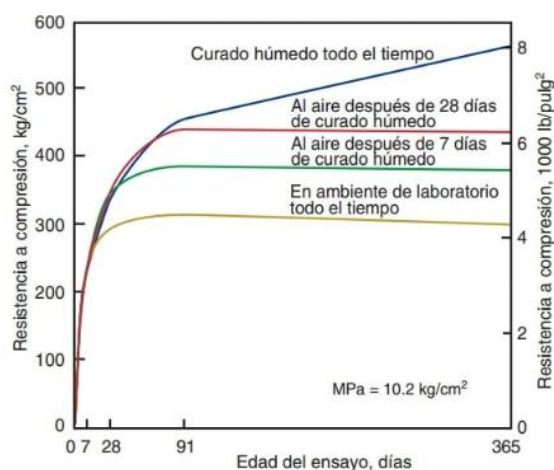


Figura 7. 1. Influencia del curado en el desarrollo de la resistencia del concreto.

Fuente: Web LA LIBRERÍA DEL INGENIERO. Qué es el curado del concreto (2017)

7.2 SISTEMAS DE CURADO DEL CONCRETO

Los diversos materiales, métodos y procedimientos que se tienen buscan mantener el contenido de humedad y la temperatura para el desarrollo de las propiedades del concreto (Abanto, 2009).

En tanto, un sistema eficiente de curado en el concreto permitirá el desarrollo de varias de sus propiedades, tales como: menor permeabilidad y mayor resistencia a los esfuerzos, abrasión y congelamiento-deshielo.

Por el contrario, para elegir el sistema de curado se debe considerar el factor económico, puesto que la disponibilidad de agua, mano de obra y materiales para el curado influirán en el costo del curado (Abanto, 2009).

A continuación, se muestran dos (2) sistemas empleados para el curado del concreto:

7.2.1 Curado con agua

El método elegido debe proporcionar una cubierta continua y completa de agua, libre de sustancias perjudiciales. Asimismo, no emplear agua fría por su impacto térmico en el concreto (Abanto, 2009).

De acuerdo al curado con agua, se tienen los siguientes métodos:

a) Anegamiento o inmersión

Empleado en lugares donde se pueda generar un charco de agua. En este sentido, para losas, pisos de puentes, pavimentos y techos planos (Abanto, 2009).

Asimismo, la temperatura del agua para curado no debe ser 11 °C menor al concreto, ya que podría causar agrietamiento debido a la generación de esfuerzos de temperatura (Abanto, 2009).

b) Rociado de niebla o aspersión

A través de aspersores se ofrece un buen curado, cuando la temperatura es muy superior a la de congelación. Por el contrario, el rociado intermitente no debe usarse, puesto que facilita que se seque la superficie del concreto. Además, los aspersores de jardín son eficientes cuando se dispone de abundante agua (Abanto, 2009).

c) Costales, carpetas de algodón y alfombras

Son materiales que permitirán retener agua sobre la superficie del concreto. No obstante, si el costal es más pesado, retendrá más agua y será mojado con menos frecuencia. Por ello, es beneficioso colocarlo doble, pues a pesar del fuerte viento y la lluvia permanecerá en su lugar. En contraste, las carpetas de algodón y las alfombras retendrán más tiempo el agua respecto del costal (Abanto, 2009).

d) Curado con tierra

Empleando tierra mojada es muy útil en losas y pisos pequeños. En tal sentido, dicha tierra no debe tener partículas mayores de 1" ni cantidades dañinas de materia orgánica (Abanto, 2009).

e) Arena y aserrín

La arena limpia y el aserrín mojados son empleados de la misma manera que el curado con tierra. Sin embargo, el aserrín debe tener una cantidad límite de ácido tánico (Abanto, 2009).

f) Paja o heno

Se pueden emplear uno o el otro mojados, pero es necesario cubrirlos con una tela de alambre para que el viento no los levante. En tanto, cuando se secan pueden generar un incendio. Además, es común que luego de retirados produzcan una decoloración en la superficie del concreto hasta varios meses después. Por otro lado, deberán conformarse en una capa de 15 cm de espesor como mínimo (Abanto, 2009).

7.2.2 Curado con materiales selladores

Los selladores son hojas o membranas que se colocan sobre en concreto para reducir la pérdida de agua por evaporación. Además, son fáciles de manejar y colocar tempranamente, a veces sin un curado inicial (Abanto, 2009).

En tanto, los métodos para el curado con materiales selladores son:

a) Película plástica

La película plástica debe cumplir con la norma ASTM C 171, la cual indica un espesor mínimo de 0.10 mm. Por otro lado, las de color blanco son para climas cálidos y las de color negro para climas fríos.

Sin embargo, no es recomendable para superficies de gran importancia, ya que genera una superficie moteada. Y en caso de losas, la película debe extenderse más allá de sus bordes, a una distancia de al menos el doble del espesor de la losa (Abanto, 2009).

b) Papel impermeable

Compuesto de dos hojas de papel Kraft unidas entre sí con un aditivo bituminoso, impermeabilizadas con fibras y tratadas para reducir su expansión o contracción tras mojarse o secarse, respectivamente (Abanto, 2009).

No obstante, su aplicación es similar a la película plástica.

c) Compuestos líquidos para formar membrana

Consisten en ceras, resinas naturales o sintéticas y solventes de gran volatilidad a la temperatura atmosférica. Asimismo, debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 309 (Abanto, 2009).

Por otro lado, aplicar dos veces, una perpendicular a la otra, para lograr una cobertura completa (Abanto, 2009).

En la figura 7.2, se indica el curado del concreto luego de acabado, usando un curador solvente de color blanco o transparente que evita la evaporación del agua del concreto.



Figura 7. 2. Aplicación de un curador químico solvente en losas de concreto.

Fuente: Web construccionyvivienda.com. Z Aditivos: Z Membrana Blanco / Curadores. Lima, Perú (2017)

Finalmente, el proceso de curado se aplica tan pronto sin causar algún daño en la superficie del concreto. Por ello, en la tabla 7.1 se indica de manera referencial el tiempo para el inicio del curado luego del vaciado del concreto (Abanto, 2009).

Tabla 7. 1. Tiempo de curado después del vaciado del concreto.

CLIMA	TIEMPO DE INICIO DE CURADO DEL CONCRETO
Calurosos y secos	1 - 3 horas
Templados	2.5 - 5 horas
Fríos	4.5 - 7 horas

Fuente: Cap. XII Curado del concreto. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

CAPÍTULO VIII

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL

8.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Las proporciones de los componentes en la mezcla de concreto, deben ser seleccionadas con la finalidad de obtener la trabajabilidad, consistencia, resistencia y durabilidad del concreto en la fabricación de una estructura específica (Abanto, 2009).

A continuación, se describe cada una de las propiedades a considerar:

a) Trabajabilidad

La capacidad del concreto para ser colocado, compactado y acabado, sin tener segregación (Abanto, 2009).

No obstante, la trabajabilidad de la mezcla depende de la granulometría, perfil y porcentaje de los agregados, cantidad de cemento, contenido de aire, cantidad de aditivo y la consistencia. Buscando en los diseños una mezcla de manejabilidad económicamente satisfactoria (Abanto, 2009).

b) Consistencia

Es el grado de humedad de las mezclas de concreto y lo define el asentamiento. Además, está relacionada con la trabajabilidad (Abanto, 2009).

Sin embargo, depende de los siguientes factores:

- La cantidad de agua en la mezcla es mayor cuando los agregados son más rugosos y angulosos. Sin embargo, ofrece una mejor adherencia pasta-agregados.
- La cantidad de agua en la mezcla es menor cuanto mayor es el tamaño máximo del agregado grueso bien gradado.
- La cantidad de agua se reduce con la incorporación de aire, y puede ser mucho menor si se usan ciertos aditivos.

c) Resistencia

Característica muy importante del concreto. En tal sentido, la cantidad neta de agua empelada por unidad de cemento, define la resistencia del concreto. Donde no se considera al agua absorbida por los agregados.

La resistencia en los concretos, depende de:

- El incremento en el tamaño máximo del agregado grueso, genera la disminución de la resistencia del concreto.
- La granulometría, textura superficial, forma, resistencia, y dureza de los agregados.
- El tipo y la marca de cemento.
- Un incremento del contenido de aire, implica la disminución de la resistencia del concreto.
- Los aditivos en el desarrollo de las propiedades cementantes del concreto.

Sin embargo, la frecuencia de los ensayos y las experiencias previas con los materiales a emplear en la mezcla, nos ayudará a conocer el resultado de la resistencia del concreto (Abanto, 2009).

d) Durabilidad

Consiste en la capacidad para resistir a la exposición por condiciones de congelación y deshielo, humedecimiento y secado, calentamiento y enfriamiento, productos químicos, etc (Abanto, 2009).

En tal sentido, la resistencia mejorará en condiciones de: cemento de bajo contenido de álcalis, puzolanas, agregados seleccionados para prevenir expansión por reacción álcali-agregado, cemento resistente a los sulfatos y agregados libres de cantidades excesivas de partículas blandas, baja relación agua-cemento e incorporación adecuada de aire (Abanto, 2009).

8.2 INFORMACIÓN Y PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL DISEÑO

8.2.1 Información

La dosificación del concreto está basada por experiencias en laboratorio. Sin embargo, es importante tener la información siguiente:

- Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.
- Peso unitario del agregado grueso y fino.
- Peso específico, porcentaje de absorción y humedad de los agregados.
- Tipo y peso específico del cemento Portland.
- Requisitos de agua en base a experiencias con los agregados.
- Relaciones entre resistencia y relación agua-cemento, para las combinaciones de cemento y agregados.

En caso que no se disponga de información experimental de las relaciones entre resistencia y agua-cemento, combinación cemento y agregados, agregados y cantidad de agua de mezclado; se emplearán las tablas correspondientes del diseño de mezclas del método del ACI (Abanto, 2009).

8.2.2 Parámetros básicos

En principio los datos iniciales requeridos para la dosificación son (Rivera, Facultad de Ingeniería Civil-Universidad del Cauca):

- El cemento Portland: el tipo y su densidad.
- Los agregados: análisis granulométrico, módulo de fineza, tamaño máximo nominal, gravedad específica, porcentaje de absorción, peso unitario suelto de los agregados y su porcentaje de humedad antes de realizar la mezcla.
- El agua: su procedencia, condición y algunos análisis químicos en caso sea necesario.
- El porcentaje de aire: según el tamaño máximo y asentamiento requerido para la mezcla.
- El Aditivo: el tipo, densidad y limitaciones para su uso.
- Características geométricas y diseño de los elementos a construir, y la colocación de la mezcla para definir la consistencia adecuada y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Resistencia especificada del calculista, f'_c (teórico).
- El grado de control en campo, definido por la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (v).
- Su exposición a agentes agresivos, para definir la máxima relación agua/cemento.

En consecuencia, los diseños de mezclas de deben adecuar a las condiciones reales a partir de asumir las condiciones de temperatura y humedad estándar (20° C y 70% de humedad relativa), dados en los parámetros básicos y las tablas recomendadas en los métodos de diseño de mezclas de concreto (Pasquel, 1998-1999).

8.3 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR EL MÉTODO DEL ACI

Consiste en obtener los pesos de cada componente de la mezcla de concreto especificado, a partir de una secuencia ordenada de pasos (Abanto, 2009).

Las especificaciones a tener en cuenta por el diseñador son:

- Máxima relación agua-cemento.
- Mínimo contenido de cemento.
- Contenido de aire.
- Asentamiento (Slump).
- Tamaño máximo del agregado.
- Resistencia.
- Requisitos de aditivos y tipos especiales de cemento o agregados.

Tras ello, se obtiene los pesos de cada componente de la mezcla por metro cúbico (kg/m^3) de concreto (Abanto, 2009).

No obstante, el procedimiento a seguir es el siguiente:

8.3.1 Selección del asentamiento

Si las especificaciones del proyecto no indican el asentamiento, su valor será seleccionado de la tabla 8.1.

Tabla 8. 1. Asentamientos recomendados según el tipo de construcción.

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	MÁXIMO (*)	MÍNIMO
- Zapatas y muros de cimentación reforzados.	3"	1"
- Zapatas simples, cajones y muros de subestructura.	3"	1"
- Vigas y muros reforzados.	4"	1"
- Columnas de edificios.	4"	1"
- Pavimentos y losas.	3"	1"
- Concreto ciclópeo	2"	1"

(*) Para métodos de consolidación diferentes a la vibración, el valor puede aumentar en 1".

Fuente: Tabla N° 1: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción. Cap.VII Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

Por otro lado, para concretos bombeables el slump mínimo será de 5". En este sentido, en la tabla 8.2 se indican los tipos de consistencia de las mezclas de concreto de acuerdo al rango de asentamiento.

Tabla 8. 2. Consistencia según el asentamiento de la mezcla de concreto.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (pulg.)
Seca	0 - 2
Plástica	3 - 4
Fluida	≥ 5

Fuente: Cap.VII Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

8.3.2 Selección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado debe ser el mayor económicamente compatible con la dimensión de la estructura, Por lo cual, el tamaño máximo del agregado grueso no debe ser mayor que (Abanto, 2009):

- 1/5 de la dimensión más angosta entre las caras del encofrado.
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 de la distancia libre entre las barras o paquetes de barras o cables pretensores.

Tras ello, si la trabajabilidad y los métodos de consolidación son buenos, las 3 limitaciones anteriores serán flexibles. Además, para una relación agua-cemento, si se reduce el tamaño máximo, se incrementará la resistencia de los concretos (Abanto, 2009).

8.3.3 Estimación del agua de mezclado y contenido de aire

La tabla 8.3, muestra la primera estimación de la cantidad de agua de mezclado (lt/m^3) del concreto, preparado con diferentes tamaños máximos de agregado grueso, son o con aire incorporado (Abanto, 2009).

Sin embargo, los valores requeridos de agua de mezclado pueden ser mayores o menores a los valores mostrados en la tabla 8.3. Debido a que también dependen del perfil, textura, y granulometría de los agregados.

La tabla 8.3, indica la cantidad aproximada de aire atrapado en concretos sin aire incorporado y el promedio del contenido total del aire incorporado intencionalmente por motivos de durabilidad del concreto.

Consecuencia de ello, deberá siempre usarse concretos con aire incorporado cuando hay exposición a congelación y deshielo, y algunas veces cuando está expuesto a agua de mar o sulfatos (Abanto, 2009).

Tabla 8. 3. Cantidad aproximada de agua de mezclado y contenido de aire, según el asentamiento y el tamaño máximo de los agregados (*).

Asentamiento (Slump)	Agua en lt/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO							
1" - 2"	205	200	185	180	160	155	145	125
3" - 4"	225	215	200	195	175	170	160	140
6" - 7"	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO							
1" - 2"	180	175	165	160	145	140	135	120
3" - 4"	200	190	180	175	160	155	150	135
6" - 7"	215	205	190	185	170	165	160	---
Promedio recomendado para el contenido total de aire (%)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

(*) Estas cantidades de agua de mezclado se utilizarán en el cálculo del factor cemento en mezclas de prueba. Son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 ó ITINTEC 400.037). Los valores del asentamiento en concretos que contienen agregados con tamaño máximo mayor de 1 1/2", están basados en ensayos de asentamientos hechos después de retirar, por cernido húmedo las partículas mayores de 1 1/2".

Fuente: Tabla N° 2: Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados *. Cap.VII Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

8.3.4 Selección de la relación agua-cemento (a/c)

La relación agua-cemento es elegida por factores de resistencia, durabilidad y exigencias en el acabado del concreto (Abanto, 2009).

En este sentido, en caso de no tener interrelaciones entre la resistencia y la relación agua-cemento de los materiales a ser usados, lo podemos tomar de la tabla 8.4, donde los valores encontrados de relación agua-cemento generarán las resistencias indicadas para muestras ensayadas a la compresión y curadas es condición estándar a los 28 días.

Tabla 8. 4. Resistencia a la compresión del concreto y relación agua-cemento.

Resistencia a la compresión a los 28 días, f'_{cr} , (diseño) kg/cm ² (*)	Relación de agua-cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

(*) Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire indicado en tabla 8.3, la resistencia del concreto disminuye conforme aumenta el contenido de aire.

Fuente: Tabla N° 3: Relación agua-cemento y resistencia a la compresión del concreto. Cap.VII
Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas.
Segunda edición (Abanto, 2009)

La resistencia promedio f'_{cr} (diseño) que se elija deberá ser mayor a la resistencia especificada, f'_c (teórico). No obstante, se calculará la relación agua-cemento (a/c) para la resistencia f'_{cr} (diseño) seleccionada. En exposición severa la relación a/c debe mantenerse baja, aún si se cumple para valores mayores de a/c. En tanto, la tabla 8.5 indica los valores máximos.

Tabla 8. 5. Valores máximos de relación agua-cemento para concretos con exposición severa (*).

TIPO DE ESTRUCTURA	Estructuras que están continua o frecuentemente húmedas y expuestas a congelación y deshielo.	Estructuras expuestas al agua de mar o sulfatos.
Secciones delgadas y todas aquellas secciones con menos de 3cm. de recubrimientos.	0.45	0.40 (**)
Cualquier otro tipo de estructura.	0.45	0.40 (**)

(*) El concreto deberá ser con aire incorporado.

(**) Si es usado cemento resistente a los sulfatos (tipo II o tipo V de la norma ASTM C 150), la relación agua-cemento permisible puede ser aumentado en 0.05.

Fuente: Tabla N° 4: Máxima relación agua-cemento permisible para concretos sometidos a exposición severa *. Cap.VII Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

Las relaciones indicadas son para agregados de tamaño máximo entre 3/4" y 1". Asimismo, para una relación agua-cemento la resistencia será mayor conforme el tamaño máximo del agregado grueso disminuye (Abanto, 2009).

8.3.5 Cálculo del contenido de cemento

El contenido de cemento (kg/m^3) es igual al cociente entre el agua de mezclado (kg/m^3) y la relación agua-cemento (a/c) (Abanto, 2009).

No obstante, se indica en la siguiente expresión:

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{\text{Agua de mezclado}}{a/c \text{ (para } f'_{cr} \text{ (diseño))}}$$

Las mezclas de concreto deben diseñarse para un contenido de cemento mayor al mínimo especificado o calculado (Abanto, 2009).

Sin embargo, el primer estimado del contenido de cemento dependerá si se emplea un aditivo las recomendaciones del fabricante, los ajustes de la cantidad de agua de mezclado (8.3.3) y las relaciones de resistencia (8.3.4) (Abanto, 2009).

Finalmente, el contenido final de cemento será después de las pruebas y los ajustes a la mezcla de concreto (Abanto, 2009).

8.3.6 Estimación del contenido de agregado grueso

El volumen de agregado grueso en una unidad de volumen de concreto, se debe al tamaño máximo y el módulo de fineza del agregado fino (Abanto, 2009).

La variación de la cantidad de mortero debido a su trabajabilidad, son compensados por diferencias del contenido de vacíos del material seco y compactado (Abanto, 2009).

En la tabla 8.6, se indica los valores aproximados de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Tabla 8. 6. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO	Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino.			
	MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

(*) Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C 29.

Fuente: Tabla N° 5: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto. Cap.VII
Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas.
Segunda edición (Abanto, 2009)

En tanto, el módulo de fineza (M.F.) del agregado fino (arena), se calcula de la siguiente manera:

$$\text{M. F.} = \frac{(\text{Suma de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas:} \\ \text{N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100})}{100}$$

Luego, calculamos el peso seco del agregado grueso por metro cúbico de concreto con la siguiente fórmula:

$$\text{Cant. de A. G.} = (\text{Vol. de A. G.}) * (\text{P. u. s. c. del A. G.})$$

Donde:

Cant. de A. G.= Cantidad de agregado grueso (kg).

Vol. de A. G.= Volumen de agregado grueso de tabla 8.6 (m³).

P. u. s. c. del A. G.= Peso unitario seco y compactado del agregado grueso (kg/m³).

Por otro lado, para la construcción de pavimentos donde los concretos requeridos son de menor trabajabilidad, su valor puede incrementar en 10%, y lo contrario, en concretos más trabajables puede reducirse en 10% (Abanto, 2009).

8.3.7 Estimación del contenido de agregado fino

Conocidos casi todos los pesos, aplicamos la siguiente fórmula para calcular el peso del agregado fino:

$$\text{Peso del A. F.} = \text{P. del C}^\circ - (\text{P. del A. G.} + \text{P. del C.} + \text{P. del agua de mezclado})$$

Donde:

Peso del A. F.= Peso del agregado fino (kg).

P. del C^o= Peso del concreto (kg).

P. del A. G.= Peso del agregado grueso (kg).

P. del C= Peso del cemento (kg).

P. del agua de mezclado= Peso del agua de mezclado (kg).

A continuación, para el cálculo del volumen absoluto del agregado fino, se indican 2 métodos.

a) Método de los pesos

Si no se cuenta con información sobre el peso unitario del concreto fresco al principio del diseño, usaremos la tabla 8.7, y luego las proporciones serán ajustadas con los ensayos realizados a la mezcla de concreto.

Tabla 8. 7. Aproximación del peso del concreto fresco (*).

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO	1RA. APROXIMACIÓN DEL PESO DEL CONCRETO (kg/m ³)	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
3/8"	2285	2190
1/2"	2315	2235
3/4"	2355	2280
1 "	2375	2315
1 1/2"	2420	2355
2"	2445	2375
3"	2465	2400
6"	2505	2435

(*) Los valores han sido calculados para concretos de riqueza media (330 kg. de cemento por m³ de concreto) y asentamiento medio con agregados de peso específico 2.7 gr/cm³.

Fuente: Tabla N° 6: Primera estimación del peso del concreto fresco. Cap.VII Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

Aplicamos la siguiente fórmula para calcular el peso del concreto fresco por metro cúbico:

$$P. U. = 10 * \gamma_{ag} * (100 - A) + C * \left(1 - \frac{\gamma_{ag}}{\gamma_{ce}}\right) - W * (\gamma_{ag} - 1)$$

Donde:

P. U.= Peso unitario del concreto fresco (kg/m³).

γ_{ag} = Peso específico promedio de la combinación de agregado grueso y fino en condición saturado superficialmente seco (kg/m³).

γ_{ce} = Peso específico del cemento (kg/m³).

A = Contenido de aire incorporado (%).

W = Agua de mezclado requerido (kg/m³).

C = Cantidad de cemento requerido (kg/m³).

b) Método del volumen

El volumen absoluto del agregado fino resulta de la diferencia del volumen unitario del concreto y la suma de los volúmenes absolutos de los componentes ya conocidos (cemento, agregado grueso, agua y aire) (Abanto, 2009).

En definitiva, el volumen absoluto de un componente del concreto se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco (kg)}}{\text{Peso específico (kg/m}^3\text{)}}$$

8.3.8 Ajuste por contenido de humedad de los agregados

Debido a que los agregados se encuentran húmedos (agua absorbida y superficial) sus pesos secos se incrementan con relación a su humedad (Abanto, 2009).

En tal sentido, los pesos húmedos de los agregados y el agua efectiva (neta) para la mezcla de concreto, se calculan con las siguientes fórmulas.

$$\text{P. húmedo del A. G.} = (\text{P. seco del A. G.}) * (W_g\%)$$

$$\text{P. húmedo del A. F.} = (\text{P. seco del A. F.}) * (W_f\%)$$

$$X = (\text{P. seco del A. G.}) * (W_g\% - a_g\%)$$

$$Y = (\text{P. seco del A. F.}) * (W_f\% - a_f\%)$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

Donde:

P. húmedo del A. G. = Peso húmedo del agregado grueso (kg).

P. seco del A. G. = Peso seco del agregado grueso (kg).

P. húmedo del A. F. = Peso húmedo del agregado fino (kg).

P. seco del A. F. = Peso seco del agregado fino (kg).

$W_g\%$ = Humedad del agregado grueso (%).

$a_g\%$ = Absorción del agregado grueso (%).

$W_f\%$ = Humedad del agregado fino (%).

$a_f\%$ = Absorción del agregado fino (%).

8.3.9 Ajuste de las mezclas

Para comprobar las proporciones de los componentes se preparan mezclas de concreto de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM C 192. No obstante, en los ensayos se corroborarán las propiedades de trabajabilidad, segregación y buen acabado del concreto (Abanto, 2009).

De ser necesario, debemos ajustar su proporción de acuerdo a los siguientes criterios:

- La cantidad de agua de mezclado debe ser igual a la cantidad neta de agua dividida por el rendimiento de la mezcla ensayada (m^3). Además, si se quiere aumentar o disminuir el asentamiento de la mezcla en 1 cm, se debe aumentar o disminuir en 2 litros el contenido de agua por metro cúbico de concreto, respectivamente.
- En el caso del contenido de aire, si se desea disminuir o aumentar en 1% el aire incorporado en la mezcla, debemos aumentar o disminuir en 3 litros el contenido de agua por metro cúbico de concreto, respectivamente.
- El peso unitario del concreto fresco del nuevo ajuste, será igual al peso unitario de la mezcla ensayada, disminuida o aumentada por el porcentaje aumentado o disminuido del contenido de aire de la mezcla ajustada respecto de la primera mezcla.
- Finalmente, calcular los nuevos pesos de la mezcla, a partir del ajuste de la relación a/c (tabla 8.4). De ser necesario, ajustar el volumen de agregado grueso (tabla 8.6) para mejorar la trabajabilidad de la mezcla de concreto.

8.4 EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTROL DEL CONCRETO

Los datos obtenidos en los ensayos presentan variaciones, lo cuales deben reflejar una uniformidad del producto y los cuidados de sus ensayos. Sin embargo, la tendencia central del conjunto de datos es el promedio y los más comunes de grado de uniformidad son la desviación estándar y el coeficiente de variación (Abanto, 2009).

8.4.1 Desviación estándar (σ)

Parámetro estadístico para evaluar la dispersión de datos respecto al promedio.

No obstante, depende del número de muestras que se tiene en cuenta para realizar el control de calidad de la producción.

A continuación, se indica la expresión para calcular la desviación estándar:

- Número de muestras menor a 30 ($n \leq 30$)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

x = Resistencia a la compresión de la muestra (kg/cm^2).

\bar{x} = Resistencia a la compresión promedio (kg/cm^2).

n = número de muestras.

- Número de muestras mayores a 30 ($n > 30$)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

8.4.2 Coeficiente de variación (v)

Es la relación entre la desviación estándar y la resistencia promedio.

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

Donde:

v = Coeficiente de variación (%).

σ = Desviación estándar (kg/cm²).

\bar{x} = Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²).

En la tabla 8.8, se muestra la relación entre el grado de control de calidad y el coeficiente de variación.

Tabla 8. 8. Grado de control de la calidad para el concreto.

GRADO DE CONTROL	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
Ensayos de laboratorio	5
Excelente en obra	10 - 12
Bueno	15
Regular	18
Inferior	20
Malo	25

Fuente: Tabla N° 7. Cap.VII Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

8.4.3 Resistencia de diseño, f'cr (diseño)

Un diseño donde pueda darse que no más de un testigo entre 10 o un testigo entre 20, tenga la resistencia menor a la especificada f'c (teórico), la mezcla debe proporcionarse para obtener una resistencia f'cr (diseño) mayor (Abanto, 2009).

En tanto, el Comité Europeo del Concreto no da la siguiente fórmula para hacer una primera aproximación:

$$f'_{cr} (\text{diseño}) = \frac{f'_c (\text{teórico})}{1 - tv}$$

Donde:

f'cr (diseño) = Resistencia de diseño requerida (kg/cm²).

f'c (teórico) = Resistencia a la compresión especificada (kg/cm²).

v = Coeficiente de variación, según en grado de control (decimal).

t = Constante que depende del porcentaje de datos menores al especificado y del número de muestras para definir "v".

Para la fórmula anterior, los valores de la constante “t”, se indican en la tabla 8.9.

Tabla 8. 9. Valores de la constante “t”.

Número de muestras menos 1	Posibilidad de caer debajo del límite inferior		
	1 en 5	1 en 10	1 en 20
1	1.376	3.078	6.314
2	1.061	1.886	2.920
3	0.978	1.638	2.353
4	0.941	1.533	2.132
5	0.920	1.476	2.015
6	0.906	1.440	1.943
7	0.896	1.415	1.895
8	0.889	1.397	1.860
9	0.883	1.383	1.838
10	0.879	1.372	1.812
15	0.866	1.341	1.753
20	0.860	1.325	1.725
25	0.856	1.316	1.708
30	0.854	1.310	1.697
>30	0.842	1.282	1.645

t: Coef. que depende del número de resultados menores a f'_c (teórico) y del número de muestras empleadas para el cálculo del coef. de variación (v).

Fuente: Tabla N° 8: Valores de “t”. Cap.VII Proporcionamiento de mezclas de concreto normal. Tecnología del concreto. Teoría y problemas. Segunda edición (Abanto, 2009)

CAPÍTULO IX

CURADO ACELERADO EN EL CONCRETO

9.1 DEFINICIÓN

Es el proceso de aceleramiento de la velocidad de hidratación del cemento Portland, que le permite endurecer más rápidamente y alcanzar una resistencia necesaria en corto tiempo (Krishna y Sukesan, 1977).

En tal sentido, el tiempo y la temperatura son dos factores muy importantes para el desarrollo de la resistencia del concreto. No obstante, en el gráfico 9.1 se indica en la curva inferior (color azul) que la resistencia a un día aumenta con el incremento de la temperatura de curado, y en la curva superior (color rojo) la resistencia a los 28 días disminuye con el incremento de la temperatura de curado (Alva, 2013).

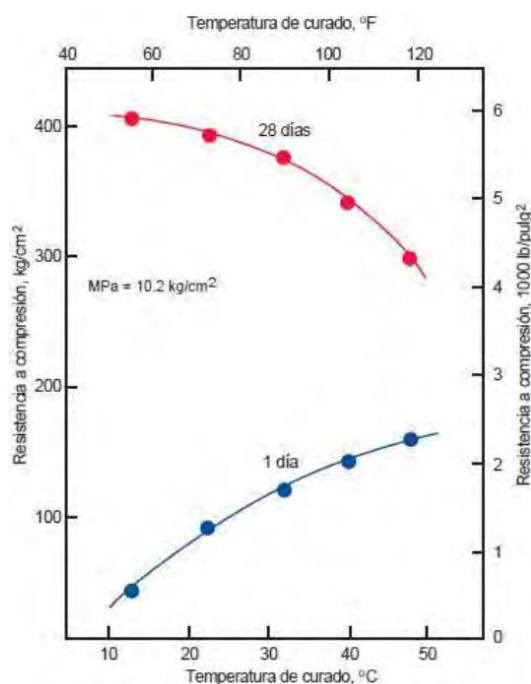


Gráfico 9. 1. Influencia de la temperatura de curado en la resistencia a la compresión del concreto.

Fuente: Gráfico. 1.4. Cap.I Tópicos generales del concreto. Sección 1.3.2.2 Desarrollo de resistencia. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante el uso de agua hirviendo (Alva, 2013)

Además, si la temperatura de curado es más elevada generará el desarrollo más temprano de la resistencia a la compresión, en comparación a una temperatura más baja. Por el contrario, a temperaturas elevadas de curado acelerado a 28 días, disminuirá la resistencia (Alva, 2013).

Mientras tanto, por cada 11° C que aumenta la temperatura, se duplica la velocidad de reacción química entre el cemento Portland y el agua (hidratación). Asimismo, si el concreto pierde su humedad tempranamente, la cantidad de agua disponible para la reacción será insuficiente y no habrá ganancia de resistencia en el concreto (Arévalo y Herrera, 2005).

No obstante, el curado acelerado alcanza del 25% al 35% de la resistencia obtenida con curado normalizado a los 28 días (Krishna y Sukesan, 1977).

En definitiva, la norma ASTM C 684 indica los procedimientos para el curado de cilindros de concreto, sometidos a incrementos de temperatura. Para luego conocer la influencia del incremento de la temperatura en la resistencia temprana del concreto (Arévalo y Herrera, 2005).

9.2 PROCEDIMIENTOS PARA EL CURADO ACELERADO

El curado acelerado de probetas de concreto descrito en la norma ASTM C 684, consta de 4 procedimientos, los cuales están basados en ensayos de variaciones de temperatura (Arévalo y Herrera, 2005).

En este sentido, en la tabla 9.1 se indican los 4 procedimientos de curado acelerado descritos en la norma ASTM C 684.

Por otro lado, el procedimiento seguido en el presente estudio, se basa en el método B (curado con agua hirviendo) para las probetas de concreto elaboradas de acuerdo a las normas NTP 339.033 y ASTM C 31.

Tabla 9. 1. Procedimientos de curado acelerado basados en la norma ASTM C 684.

Conceptos	Procedimientos de curado acelerado (ASTM C 684)			
Procedimientos	Método A	Método B	Método C	Método D
Forma de los especímenes	Cilindros estándar			Cilindro reducido
Diámetro y altura (mm)	152 x 304	152 x 304	152 x 304	76 x 152
Tamaño máximo de agregado grueso (mm)	38	38	38	25
Procedimiento de elaboración	Estándar ASTM C 31	Estándar ASTM C 31	Estándar ASTM C 31	Modificado ASTM C 684
Curado acelerado Medio para elevar la temperatura del concreto.	Agua tibia	Agua en ebullición	Calor de hidratación del cemento	Resistencia eléctrica
Temperatura de prueba (°C)	35 ± 3 °C	100 °C al nivel del mar	Variable según el contenido y tipo de cemento	149 ± 3 °C
Presión de prueba	Atmosférica	Atmosférica	Atmosférica	105 ± 2 kg/cm ²
Edad del concreto al iniciar el curado acelerado a los especímenes	Inmediatamente después del fraguado inicial	23 h ± 15 min después del moldeo	Inmediatamente después del fraguado inicial	Inmediatamente después del fraguado inicial
Duración del curado acelerado	23.5 h ± 30 min	3.5 h ± 5 min	48 h ± 15 min	5 h ± 15 min
Cabeceo de los especímenes	Estándar en todos los casos (ASTM C 17)			
Aplicación de carga	Estándar en todos los casos (ASTM C 39)			
Edad del concreto al ensayar los especímenes	24 h ± 15 min	28.5 h ± 15 min	49 h ± 15 min	5.25 h ± 5 min

Fuente: Tabla 3.2. Cuadro Resumen Norma ASTM C684. Cap.III Procedimientos de curado acelerado. Sección 3.6 Coeficientes de variabilidad para cilindros sometidos a curado acelerado. Tesis de grado en Ingeniería Civil. Análisis comparativo en la resistencia a la compresión del curado acelerado frente al curado convencional en probetas cilíndricas de concreto (Arévalo y Herrera, 2005)

9.2.1 Procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo (método B)

Es uno de los 4 procedimientos de curado acelerado descritos en la norma ASTM C 684. El cual, es denominado: “Procedimiento B. Boiling Water Method (método de agua hirviendo)” (Arévalo y Herrera, 2005).

No obstante, también en la norma NTP 339.213 se describen los métodos de aceleramiento de resistencia, donde el método de curado acelerado con agua hirviendo está clasificado en el método B de la tabla 2.1. Norma NTP 339.213 cap.8.3 (Alva, 2013).

En principio, los especímenes deberán permanecer a una temperatura ambiental entre 16 y 27 °C, por un periodo de 6 a 8 horas de prefraguado. Durante el cual, deben ser protegidos y almacenados de acuerdo a la norma ASTM C 31M, para evitar la pérdida importante de humedad. Tras ello, son sumergidos en el tanque de curado, donde el agua está a una temperatura de 100 °C, y permanecerán por un periodo de curado de 3.5 horas \pm 15 min (Arévalo y Herrera, 2005).

Las probetas húmedas, luego de ser retiradas del proceso de curado acelerado, deben secarse paulatinamente para disminuir las fisuraciones en el concreto (Arévalo y Herrera, 2005).

A continuación, se describen algunas ventajas del método B con cada uno respecto a los otros métodos (A, C y D):

- El tiempo de duración del ensayo del método B es menor respecto del método A, con lo cual resulta más práctico. Asimismo, los resultados de resistencia temprana con el método B son más claros, y ello permite que se pueda trabajar con relaciones agua-cemento cercanas.
- El tiempo de curado del método B (3.5 horas) es mucho menor respecto del método C (48 horas).
- El método B, requiere de una implementación más simple respecto del método D que requiere de la aplicación simultánea de calor y presión en el curado acelerado.
- Además, se puede emplear materiales y herramientas de nuestro alcance para la implementación del equipo de curado acelerado para el método B, con ello se vuelve un equipo más económico.

Por otro lado, el mercado nacional no cuenta con fabricantes de máquinas de curado acelerado. Sin embargo, en los países de China e Italia, si lo fabrican (Alva, 2013).

En consecuencia, la tabla 9.2 indica los fabricantes de máquinas de curado acelerado de otros países:

Tabla 9. 2. Fabricantes de máquinas de curado acelerado.

País	Precio dólares sin envío	Fabricante	Fuente
China	800	CangzhouBaoHua Hardware Co., Limited	http://spanish.alibaba.com/product-gs/model-jyf-6-series-concrete-rapid-curing-cabinet-794828553.html
Italia	1300	CONTROLS s.r.l	http://www.controls-group.com/eng/concrete-testing-equipment/programmable-accelerated-curing-tanks.php
India	-	Rajco Cientific & Engineering Products	http://www.stecoscscientific.com/concrete-testing-equipment.html

Fuente: Tabla 2.2 Países donde se fabrican máquinas de curado acelerado. Cap.II Ventajas, limitaciones y soluciones del curado acelerado. Sección 2.3. Máquinas existentes para realizar curado acelerado con agua hirviendo. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante el uso de agua hirviendo (Alva, 2013)

9.3 EQUIPO PARA EL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO

El equipo empleado para el método B, se basa principalmente en un tanque de curado acelerado, el cual está constituido de acero inoxidable y doble pared para mantener las condiciones térmicas. Además, posee unas resistencias en el fondo del tanque con temperatura entre 35 y 100 °C que permiten la uniformidad, y no requerir de un agitador mecánico (Arévalo y Herrera, 2005).

En la figura 9.1, se indican las medidas sugeridas para la implementación del tanque de curado acelerado.

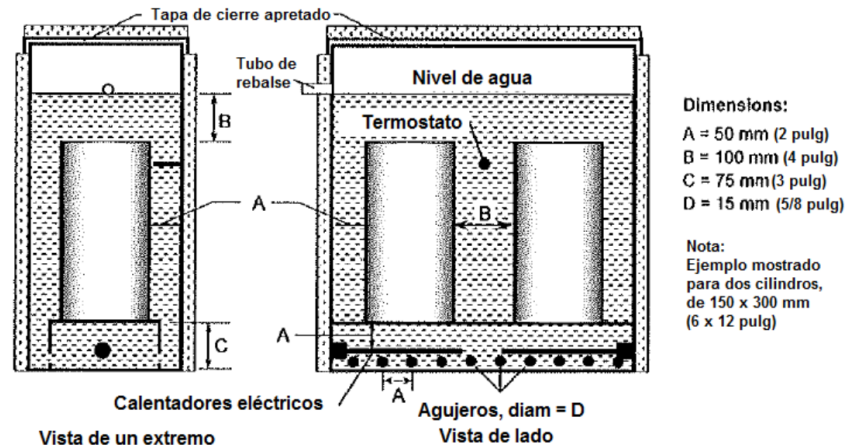


Figura 9. 1. Dimensiones de tanque de curado acelerado.

Fuente: Figura X1.1 - Diseño sugerido para un tanque de curado de agua tibia (Procedimiento A).
Apéndice X1. Aparato de curado. X1.1 Tanque de curado de agua tibia (Procedimiento A). Sección
X1.1.3. Práctica para el curado acelerado de cilindros de concreto. Norma Técnica Guatemalteca
(COGUANOR NTG 41041, 2014)

Sin embargo, en el mercado se tienen tanques de curado acelerado de diferentes especificaciones. En la figura 9.2, se muestran algunos diseños de tanques fabricados.

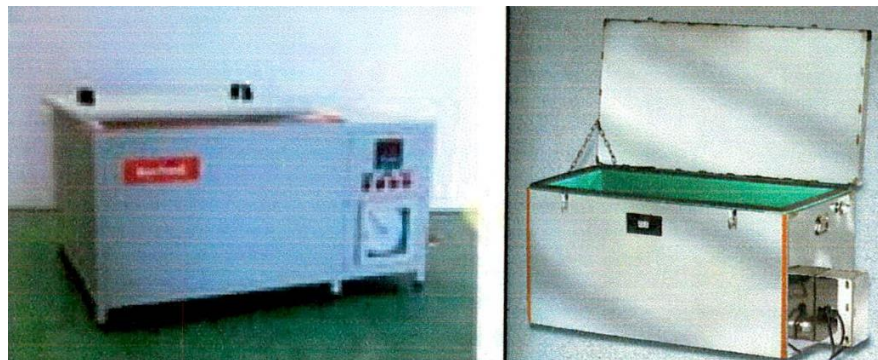


Figura 9. 2. Diseño de tanques de curado acelerado comerciales.

Fuente: Foto N°. 1.5 Tanques de curado comerciales. Cap.I Componentes utilizables en la elaboración de hormigones. Sección 1.6 Tanque de curado acelerado. Tesis de grado en Ingeniería Civil. Análisis comparativo en la resistencia a la compresión del curado acelerado frente al curado convencional en probetas cilíndricas de concreto (Arévalo y Herrera, 2005)

9.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACELERAMIENTO DE LA RESISTENCIA

La ventaja más importante del curado acelerado es que nos permite conocer de manera rápida valores de resistencia a la compresión confiables a la edad de 1 día, tras el ensayo de curado acelerado en testigos de concreto (Alva, 2013).

Por otro lado, permite evaluar la variabilidad de la resistencia a la compresión del concreto en campo. Asimismo, dicha variabilidad del curado acelerado es la misma a la obtenida con el curado estándar (Alva, 2013).

En tal sentido, en obras de EE.UU. y Canadá la aplicación del curado acelerado ha permitido el control de calidad y la predicción de resistencias a 28 días. Consecuencia de ello, el Instituto Americano del Concreto (ACI) indica que en el futuro los curados acelerados, denominado en inglés “One Day Test”, serán usados para la aprobación del concreto en obra sin esperar los 28 días (Alva, 2013).

Otra ventaja del curado acelerado podría darse con la disminución del espacio en la poza de curado estándar, cuando en grandes volúmenes de concreto, la cantidad de testigos es importante (Alva, 2013).

Por el contrario, las desventajas podrían ser que se requiera de un personal con cierto nivel técnico, poca disponibilidad de ciertos materiales para su implementación y la adquisición de una máquina de curado acelerado de un fabricante (Alva, 2013).

CAPÍTULO X

METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1 NÚMERO DE PROBETAS ENSAYADAS

En la investigación se han planteado dos (2) dosificaciones de mezclas de concreto, para resistencias DMC - 01 f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² y DMC - 02 f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², con la finalidad de analizar todos los resultados obtenidos en laboratorio y establecer relaciones confiables entre las dos variables planteadas: la resistencia a la compresión del concreto y la temperatura de curado.

No obstante, la norma ACI 318S-08 en su sección 5.6.2.4 indica que, el ensayo de resistencia debe ser del promedio de la resistencia de al menos dos (2) probetas de 150 por 300 mm (especímenes cilíndricos estándar) preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo requerida para determinar el f'_c (laboratorio). En este caso, para cada diseño de mezclas se han elaborado 23 probetas, distribuidas como se indica en la tabla 10.1, para el ensayo de resistencia a la compresión simple.

Tabla 10. 1. Distribución de las probetas de concreto preparadas.

Diseño de mezclas de concreto	Edad de ensayo de resistencia (días)	Nº de probetas
DMC - 01 f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ² a/c= 0.50	1	4
	2	4
	3	4
	4	2
	5	2
	7	2
	15	2
	28	3
DMC - 02 f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ² a/c= 0.60	1	4
	2	4
	3	4
	4	2
	6	2
	8	2
	14	2
	28	3
Total		46

Las 46 probetas cilíndricas elaboradas tienen la dimensión estándar de 150 mm de diámetro (6") por 300 mm de altura (12").

En efecto, la figura 10.1 muestra los moldes usados para elaborar las probetas de concreto.



Figura 10. 1. Moldes cilíndricos metálicos estándar 150 x 300 mm.

10.2 ENSAYOS A LOS MATERIALES DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Los materiales empleados para las mezclas de concreto son: cemento, agregado grueso, agregado fino y agua.

A continuación, se describen los ensayos realizados en laboratorio a cada uno de los materiales de las mezclas de concreto.

10.2.1 Ensayos al cemento

El cemento Portland tipo I usado cumple con los requisitos normalizados en la NTP 334.009, en sus tablas 1 y 3. Particularmente, cumple con las exigencias físicas y químicas indicados en NTP 334.009.2016.

No obstante, para el cálculo del diseño de mezclas tomamos el valor de la densidad del cemento indicado en la ficha técnica entregada por el productor. Adicionalmente, debemos conocer el tiempo de fraguado del cemento, indicado también en la ficha técnica. Con ello, saber cuándo comienza y termina el fraguado de la mezcla de concreto. Los valores se indican en la tabla 10.2.

Tabla 10. 2. Resultados de los ensayos al cemento Portland tipo I.

Requisito	Especificación	Resultado de ensayo
Densidad (g/mL)	-	3.05
Inicio de fraguado (min.)	45 mín.	109
Fin de fraguado (min.)	375 máx.	232

Fuente: Ficha técnica de cemento Portland tipo I (Cementos Pacasmayo S.A.A., 2019)

En definitiva, la figura 10.2 muestra el cemento usado para los dos diseños de mezcla elaborados.



Figura 10. 2. Cemento Portland tipo I – Pacasmayo.

10.2.2 Ensayos al agregado grueso

El agregado grueso empleado proviene de la cantera Sojo en Sullana. El cual está constituido de piedra chancada, en condición limpia, tal como se muestra en la figura 10.3.

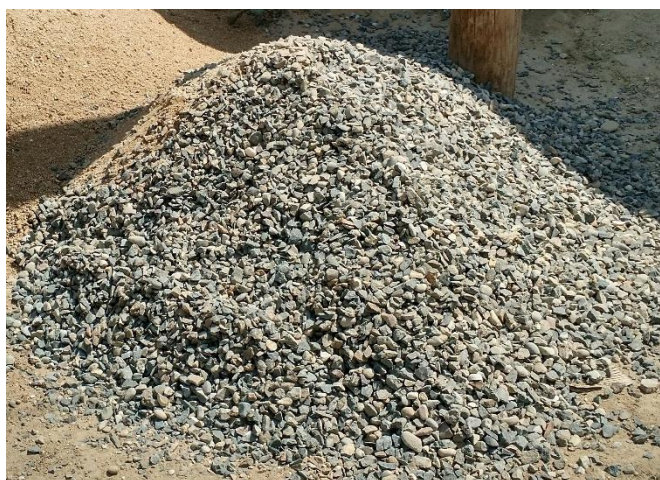


Figura 10. 3. Agregado grueso acopiado.

Los ensayos básicos de calidad realizados al agregado grueso, fueron:

- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204, NTP 400.012 y ASTM C 136).
- Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206, NTP 400.021 y ASTM C 127).
- Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203 y NTP 400.017 y ASTM C 29).
- Contenido de humedad de un suelo (MTC E 108, NTP 339.127 y ASTM D 2216).
- Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E 210 y ASTM D 5821).
- Partículas chatas y alargadas en agregados (MTC E 223, NTP 400.040 y ASTM D 4791).

Las figuras 10.4, 10.5, 10.6, 10.7 y 10.8, se muestran los ensayos básicos realizados al agregado grueso conforme al Manual de Ensayo de Materiales (2016) del MTC, las normas NTP y ASTM, para los agregados del concreto. Con la finalidad de determinar su calidad para ser usado en las mezclas de concreto.



Figura 10. 4. Análisis granulométrico del agregado grueso.



Figura 10. 5. Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.



Figura 10. 6. Humedad del agregado grueso.



Figura 10. 7. Ensayo de partículas fracturadas del agregado grueso.



Figura 10. 8. Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso.

En el análisis cualitativo, se observó que se trata de un material anguloso, rugoso, compacto y resistente.

Por otro lado, luego de anotar los datos necesarios en cada ensayo, son procesados en los formatos y se obtienen los resultados de todos los ensayos.

A continuación, en las tablas 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7, 10.8 y 10.9, se muestran todos los resultados de cada ensayo realizado al agregado grueso.

Tabla 10. 3. Ensayo 1 de análisis granulométrico al agregado grueso.

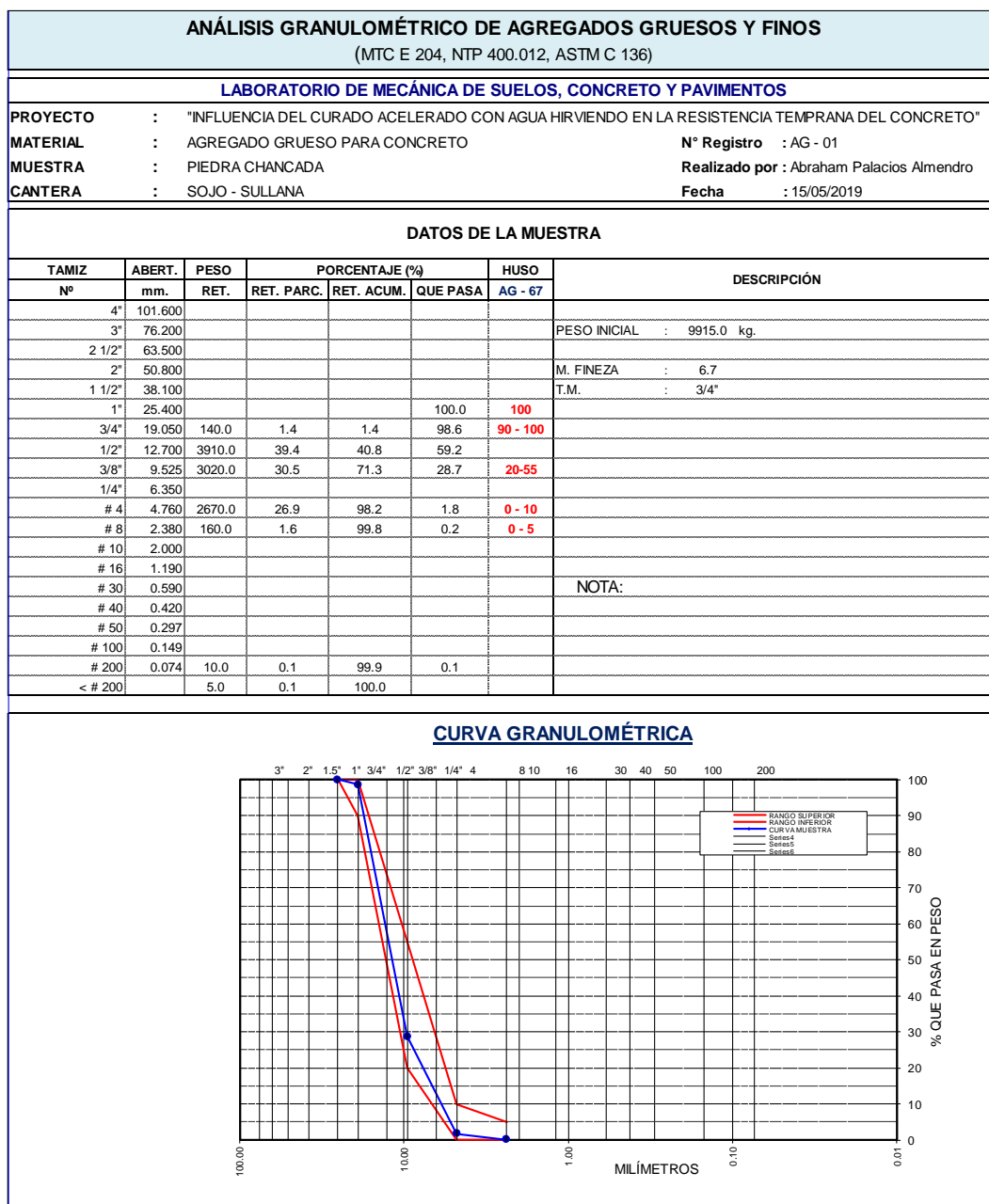


Tabla 10. 4. Ensayo 2 de análisis granulométrico al agregado grueso.

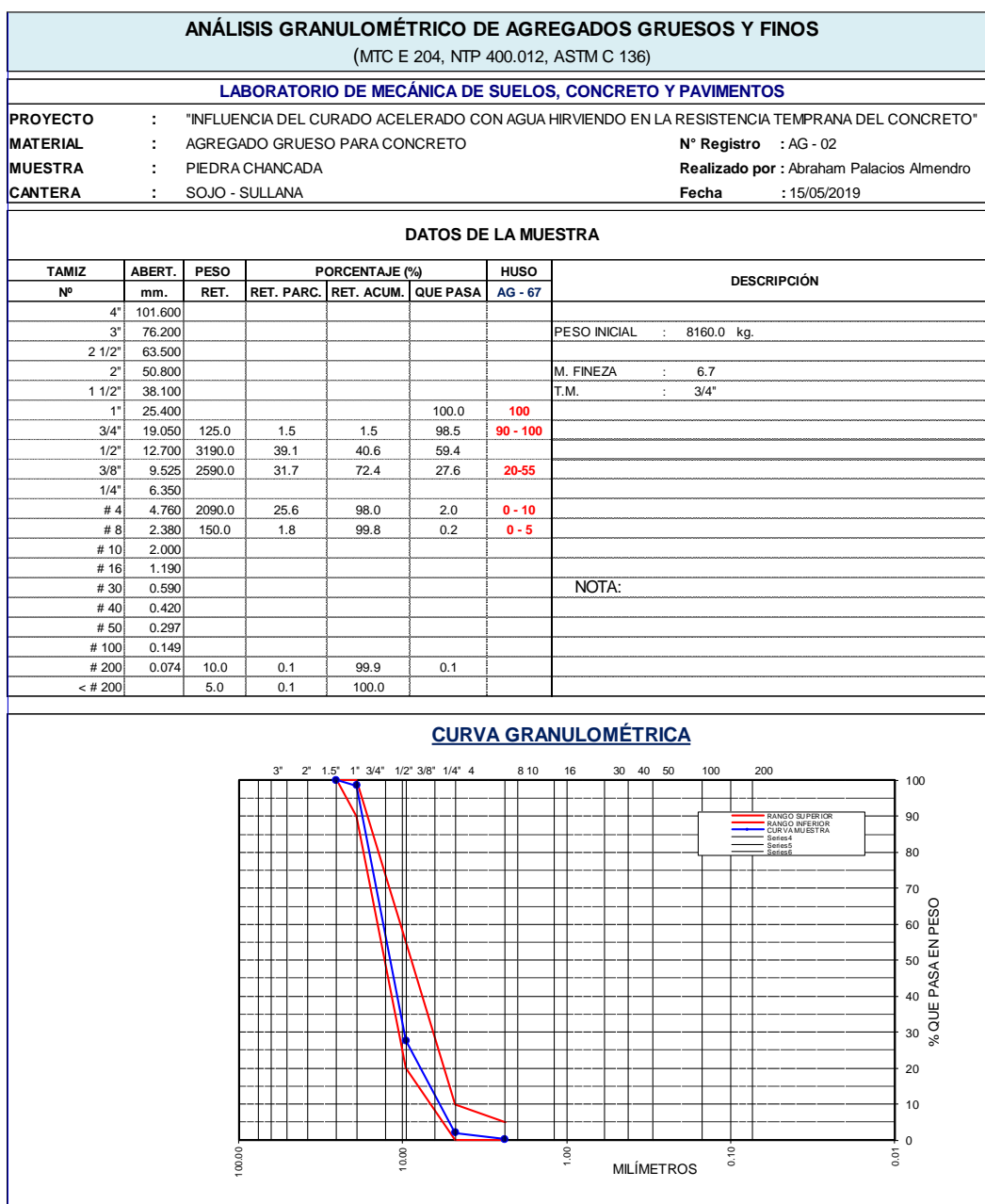


Tabla 10. 5. Ensayo de peso específico y absorción al agregado grueso.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E 206, NTP 400.021, ASTM C 127)					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS					
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"					
MATERIAL	: AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO	Nº Registro	: PE - 01		
MUESTRA	: PIEDRA CHANCADA	Realizado por	: Abraham Palacios Almendro		
CANTERA	: SOJO - SULLANA	Fecha	: 15/05/2019		
DATOS DE LA MUESTRA					
A	Peso material saturado superficialmente seco (en aire) (gr)	2084.0	2122.0	2047.0	PROMEDIO
B	Peso material saturado superficialmente seco (en agua) (gr)	1285.7	1310.9	1265.5	
C	Volumen de masa + volumen de vacíos = A-B (cm³)	798.3	811.1	781.5	
D	Peso material seco en estufa (105 °C)(gr)	2045.7	2083.2	2009.4	PROMEDIO
E	Volumen de masa = C- (A - D) (cm³)	760.0	772.3	743.9	
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.563	2.568	2.571	
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.611	2.616	2.619	2.615
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.692	2.697	2.701	
	% de Absorción = ((A - D) / D * 100)	1.872	1.863	1.871	1.87%

Tabla 10. 6. Ensayo de peso unitario al agregado grueso.

PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS						
(MTC E 203, NTP 400.017, ASTM C 29)						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	: "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"					
MATERIAL	: AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO			N° Registro	: PU - 01	
MUESTRA	: PIEDRA CHANCADA			Realizado por	: Abraham Palacios Almendro	
CANTERA	: SOJO - SULLANA			Fecha	: 16/05/2019	
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO						
Item	Descripción del ensayo					Promedio
	N° de Ensayo	1	2	3		
A	Peso agregado + recipiente (gr)	13590	13570	13660		
B	Peso del recipiente (gr)	8780	8780	8780		
C	Peso agregado gr = (A)-(B)	4810	4790	4880		
D	Volumen del recipiente (cc)	3157.4	3157.4	3157.4		
E	Peso unitario = (C)/(D)	1.523	1.517	1.546		
F	Promedio de Peso Unitario (Kg/m3)					1529
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO						
Item	Descripción del ensayo					Promedio
	N° de Ensayo	1	2	3		
A	Peso agregado + recipiente (gr)	13790	13920	13900		
B	Peso del recipiente (gr)	8780	8780	8780		
C	Peso agregado gr = (A)-(B)	5010	5140	5120		
D	Volumen del recipiente (cc)	3157.4	3157.4	3157.4		
E	Peso unitario = (C)/(D)	1.587	1.628	1.622		
F	Promedio de Peso Unitario (Kg/m3)					1612

Tabla 10. 7. Ensayo de humedad al agregado grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108, NTP 339.127, ASTM D 2216)		
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS		
PROYECTO	: "INFLUENCIA DE CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"	
MATERIAL	: AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO	N° Registro : HN - 01
MUESTRA	: PIEDRA CHANCADA	Realizado por : Abraham Palacios Almendro
CANTERA	: SOJO - SULLANA	Fecha : 16/05/2019
DATOS		
Item	Descripción del ensayo	
A	Peso de Mat. Humedo + Tara (gr.)	439.11
B	Peso de Mat. Seco + Tara (gr.)	438.37
C	Peso de Tara (gr.)	
D	Peso de Agua (gr.)	0.74
E	Peso Mat. Seco (gr.)	438.37
F	Humedad (%)	0.17%

Tabla 10. 8. Ensayo de partículas fracturadas del agregado grueso.

PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURAS EN EL AGREGADO GRUESO (MTC E 210, ASTM D 5821)							
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
PROYECTO : "INFLUENCIA DE CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"							
MATERIAL : AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO				N° Registro : PF - 01			
MUESTRA : PIEDRA CHANCADA				Realizado por : Abraham Palacios Almendro			
CANTERA : SOJO - SULLANA				Fecha : 22/05/2019			
DATOS DE LA MUESTRA							
CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO POR MALLAS (A) (gr)	1 CARA FRACTURADA (B) (gr)	% POR MALLAS (C) = (B/A)*100 (%)	PORCENTAJE POR MALLAS (D) (%)	(E) = (C)*(D) (%)	(E)/(D)
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"	190.0	180.0	94.7	1.4	133.8	
3/4"	1/2"	2840.0	2720.0	95.8	39.4	3776.9	
1/2"	3/8"	1630.0	1560.0	95.7	30.5	2915.1	
3/8"	N° 4	1120.0	1110.0	99.1	26.9	2668.8	
TOTAL		5780.0	5570.0		98.2	9494.6	96.7%
CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO POR MALLAS (A) (gr)	2 CARAS FRACTURADAS (B) (gr)	% POR MALLAS (C) = (B/A)*100 (%)	PORCENTAJE POR MALLAS (D) (%)	(E) = (C)*(D) (%)	(E)/(D)
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"	190.0	160.0	84.2	1.4	118.9	
3/4"	1/2"	2840.0	2590.0	91.2	39.4	3596.4	
1/2"	3/8"	1630.0	1450.0	89.0	30.5	2709.5	
3/8"	N° 4	1120.0	1020.0	91.1	26.9	2452.5	
TOTAL		5780.0	5220.0		98.2	8877.3	90.4%

Tabla 10. 9. Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso.

PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS (MTC E 223, NTP 400.040, ASTM D 4791)						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	: "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"					
MATERIAL	: AGREGADO GRUESO PARA MEZCLA DE CONCRETO			N° Registro	: ChA - 01	
MUESTRA	: PIEDRA CHANCADA			Realizado por	: Abraham Palacios Almendro	
CANTERA	: SOJO - SULLANA			Fecha	: 22/05/2019	
DATOS DE LA MUESTRA						
TAMIZ	Peso por mallas (A) (gr)	Peso chatas y alargadas (B) (gr)	Porcentaje (C)=(B)/(A)*100 (%)	Gradación Original (D) (%)	Corrección (E)=(C)*(D) (%)	(E)/(D) (%)
1 1/2" - 1"						
1" - 3/4"	190.0	10.0	5.3	1.4	7.4	
3/4" - 1/2"	2840.0	60.0	2.1	39.4	83.3	
3/4" - 1/2"	1630.0	30.0	1.8	30.5	56.1	
1/2" - 3/8"	1120.0	10.0	0.9	26.9	24.0	
Peso Total (gr.)	5780	110.0		98.2	170.8	1.7%

Por otro lado, puesto que el retenido acumulado del 15% está entre los tamices de 1" y 3/4", y en base al concepto definido en la sección 4.2.3 a), el tamaño máximo del agregado grueso en este caso es:

$$T.M. = 3/4"$$

Finalmente, se analizaron y compararon con los requisitos establecidos en las tablas 4.5 y 4.6, para determinar la calidad del agregado grueso. Los resultados se indican en la tabla 10.10.

Tabla 10. 10. Resultados de los ensayos al agregado grueso.

Ensayo	Requisito	Resultado	Cumple
Análisis granulométrico	Ver tabla 4.6	Huso AG-67	Sí
Peso específico (kg/m3)	-	2615	-
Absorción (%)	-	1.87	-
Peso unitario suelto (kg/m3)	-	1529	-
Peso unitario compactado (kg/m3)	-	1612	-
Humedad (%)	-	0.17	-
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), % mínimo.	60	96.7	Sí
Partículas fracturadas mecánicamente (dos caras), % mínimo.	-	90.4	-
Partículas chatas y alargadas (relación 5:1), % máximo.	10	1.7	Sí

10.2.3 Ensayos al agregado fino

El agregado fino ensayado proviene de la cantera Cerro Mocho en Sullana. El cual está conformado por arena gruesa de baja humedad y presencia de finos, tal como se muestra en la figura 10.9.



Figura 10. 9. Agregado fino acopiado.

Los ensayos básicos de calidad realizados al agregado fino, fueron:

- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204, NTP 400.012 y ASTM C 136).
- Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205, NTP 400.022 y ASTM C 128).
- Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203, NTP 400.017 y ASTM C 29).
- Contenido de humedad de un suelo (MTC E 108, NTP 339.127 y ASTM D 2216).
- Equivalente de arena de suelos y agregado fino (MTC E 114, NTP 339.146 y ASTM D 2419).
- Material fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado (MTC E 202, NTP 400.018 y ASTM D 1140).

Las figuras 10.10, 10.11, 10.12, 10.13 y 10.14, se muestran los ensayos básicos realizados al agregado fino conforme al Manual de Ensayo de Materiales (2016) del MTC, las normas NTP y ASTM. Con la finalidad de determinar su calidad para ser usado en las mezclas de concreto.



Figura 10. 10. Análisis granulométrico del agregado fino.



Figura 10. 11. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.



Figura 10. 12. Humedad del agregado fino.



Figura 10. 13. Equivalente de arena del agregado fino.



Figura 10. 14. Material fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado del agregado fino.

En el análisis cualitativo, se observó que se trata de un material granular, libre de impurezas orgánicas, no tan limpio y bajo de humedad.

En efecto, luego de anotar los datos necesarios en cada ensayo, son procesados en los formatos y finalmente se tiene los resultados de todos los ensayos.

A continuación, en las tablas 10.11, 10.12, 10.13, 10.14, 10.15, 10.16 y 10.17, se muestran todos los resultados de cada ensayo realizado al agregado fino.

Tabla 10. 11. Ensayo 1 de análisis granulométrico al agregado fino.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS									
(MTC E 204, NTP 400.012, ASTM C 136)									
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS									
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL CURADO ACCELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"									
MATERIAL : AGREGADO FINO PARA CONCRETO						N° Registro : AG - 03			
MUESTRA : ARENA GRUESA						Realizado por : Abraham Palacios Almendro			
CANTERA : CERRO MOCHO - SULLANA						Fecha : 15/05/2019			
DATOS DE LA MUESTRA									
Malla (AASHTO T-27)		Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% que Pasa	Especificaciones Técnicas		Descripción de la Muestra	
Tamiz	mm.								
3"	76.200							Peso Inicial Seco: 504.80 gr.	
2 1/2"	63.500							Modulo de fineza: 3.2	
2"	50.600								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400								
3/4"	19.050								
1/2"	12.700				100.0			Grava 2" - N° 4 : 5.3 %	
3/8"	9.525	11.81	2.3	2.3	97.7	100	100	Arena N°4 - N° 200 : 89.9 %	
1/4"	6.350							Finos < N° 200 : 4.8 %	
No4	4.760	14.95	3.0	5.3	94.7	95	100		
8	2.360	77.79	15.4	20.7	79.3	80	100		
10	2.000								
16	1.190	122.60	24.3	45.0	55.0	50	85		
30	0.590	121.14	24.0	69.0	31.0	25	60	OBSERVACIONES:	
40	0.425								
50	0.300	81.01	16.0	85.0	15.0	10	30		
100	0.150	37.81	7.5	92.5	7.5	2	10		
200	0.074	13.70	2.7	95.2	4.8				
pasa		23.99	4.8	100.0					

CURVA GRANULOMÉTRICA

3" 2 1/2" 2" 1 1/2" 1" 3/4" 1/2" 3/8" 1/4" N°4 8 10 16 20 30 40 50 60 80 100 200

% Que pasa

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

76200 63500 50600 38100 25400 19050 12700 9525 6350 4760 2360 2000 1600 1250 900 600 300 250 180 140 100

Abertura (mm)

<

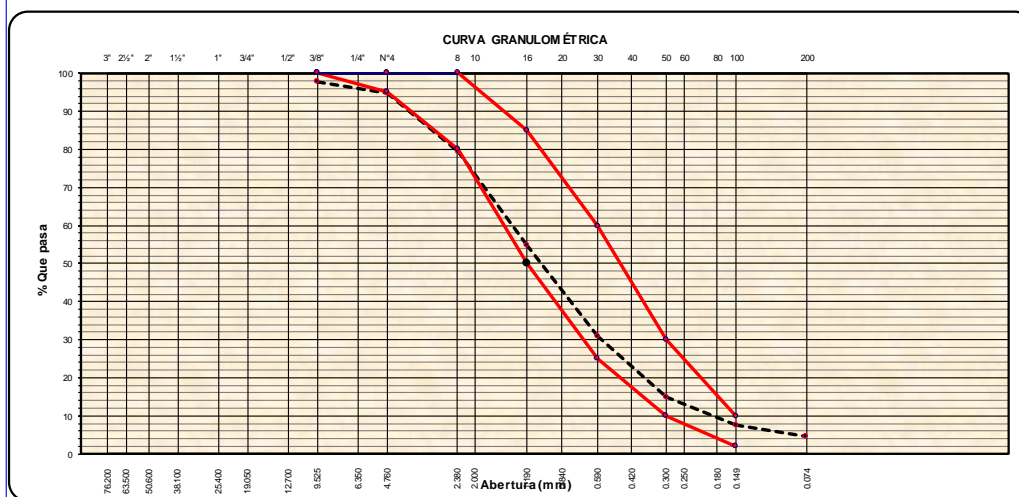


Tabla 10. 12. Ensayo 2 de análisis granulométrico al agregado fino.

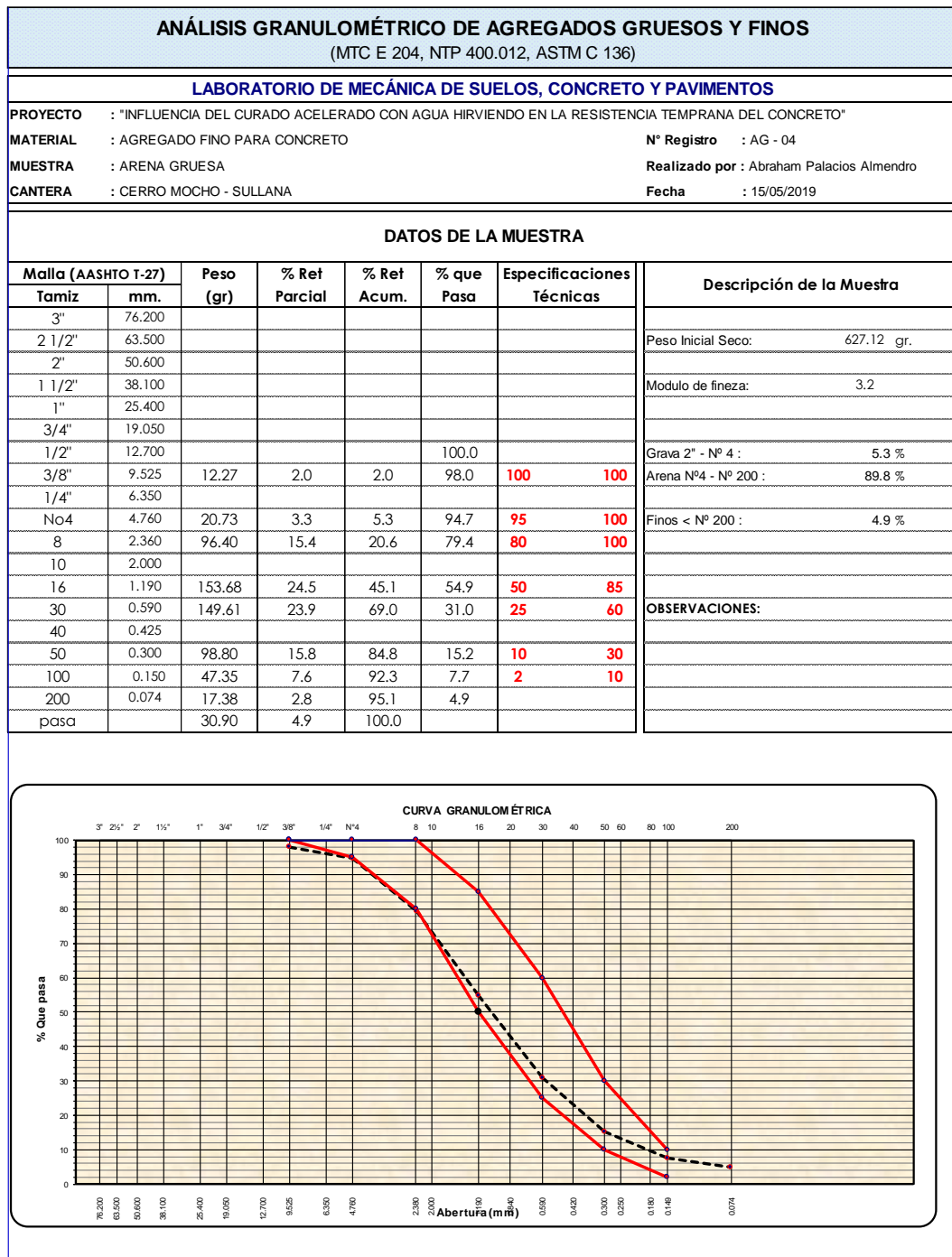


Tabla 10. 13. Ensayo de gravedad específica y absorción al agregado fino.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MTC E 205, NTP 400.022, ASTM C 128)					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS					
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"					
MATERIAL	: AGREGADO FINO PARA CONCRETO	Nº Registro	: PE - 02		
MUESTRA	: ARENA GRUESA	Realizado por	: Abraham Palacios Almendro		
CANTERA	: CERRO MOCHO - SULLANA	Fecha	: 15/05/2019		
DATOS DE LA MUESTRA					
A	Peso material saturado superficialmente seco (en aire) (gr)	270.0	280.0		
B	Peso frasco + agua (gr)	665.0	665.0		
C	Peso frasco + agua + A (gr)	935.0	945.0		
D	Peso del material + agua en el frasco (gr)	833.0	839.4		
E	Volumen de masa + volumen de vacío = C-D (cm3)	102.0	105.6		
F	Peso de material seco en estufa (105°C) (gr)	264.6	274.5		
G	Volumen de masa = E - (A - F) (cm3)	96.6	100.1		
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.594	2.599		PROMEDIO
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.647	2.652		2.649
	Pe aparente (Base seca) = F/G	2.739	2.742		
	% de Absorción = ((A - F)/F)*100	2.041	2.004		2.02%

Tabla 10. 14. Ensayo de peso unitario al agregado fino.

PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS						
(MTC E 203, NTP 400.017, ASTM C 29)						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	: "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"					
MATERIAL	: AGREGADO FINO PARA CONCRETO			N° Registro	: PU - 02	
MUESTRA	: ARENA GRUESA			Realizado por	: Abraham Palacios Almendro	
CANTERA	: CERRO MOCHO - SULLANA			Fecha	: 16/05/2019	
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO						
Item	Descripción del ensayo					Promedio
	N° de Ensayo	1	2	3		
A	Peso agregado + recipiente (gr)	13330	13390	13320		
B	Peso del recipiente (gr)	8780	8780	8780		
C	Peso agregado gr = (A)-(B)	4550	4610	4540		
D	Volumen del recipiente (cc)	3157.4	3157.4	3157.4		
E	Peso unitario = (C)/(D)	1.441	1.460	1.438		
F	Promedio de Peso Unitario (Kg/m3)					1446
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO						
Item	Descripción del ensayo					Promedio
	N° de Ensayo	1	2	3		
A	Peso agregado + recipiente (gr)	13940	13980	14020		
B	Peso del recipiente (gr)	8780	8780	8780		
C	Peso agregado gr = (A)-(B)	5160	5200	5240		
D	Volumen del recipiente (cc)	3157.4	3157.4	3157.4		
E	Peso unitario = (C)/(D)	1.634	1.647	1.660		
F	Promedio de Peso Unitario (Kg/m3)					1647

Tabla 10. 15. Ensayo de humedad al agregado fino.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108, NTP 339.127, ASTM D 2216)		
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS		
PROYECTO	: "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"	
MATERIAL	: AGREGADO FINO PARA CONCRETO	N° Registro : HN - 02
MUESTRA	: ARENA GRUESA	Realizado por : Abraham Palacios Almendro
CANTERA	: CERRO MOCHO - SULLANA	Fecha : 16/05/2019
DATOS		
Item	Descripción del ensayo	
A	Peso de Mat. Humedo + Tara (gr.)	519.23
B	Peso de Mat. Seco + Tara (gr.)	504.80
C	Peso de Tara (gr.)	
D	Peso de Agua (gr.)	14.43
E	Peso Mat. Seco (gr.)	504.80
F	Humedad (%)	2.86%

Tabla 10. 16. Ensayo de equivalente de arena al agregado fino.

EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO (MTC E 114, NTP 339.146, ASTM D 2419)					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS					
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"					
MATERIAL : AGREGADO FINO PARA CONCRETO		N° Registro : EA - 01			
MUESTRA : ARENA GRUESA		Realizado por : Abraham Palacios Almendro			
CANTERA : CERRO MOCHO - SULLANA		Fecha : 29/05/2019			
DATOS DE LA MUESTRA					
MUESTRA		IDENTIFICACIÓN			
		1	2	3	4
Hora de entrada a saturación		14:20	14:22	14:24	
Hora de salida de saturación (más 10')		14:30	14:32	14:34	
Hora de entrada a decantación		14:32	14:34	14:36	
Hora de salida de decantación (más 20')		14:52	14:54	14:56	
Altura máxima de material fino	cm	7.2	7.1	7.1	
Altura máxima de la arena	cm	5.5	5.4	5.5	
Equivalente de arena	%	77	77	78	
Equivalente de arena promedio	%	77.3			
Resultado equivalente de arena	%	78			

Tabla 10. 17. Ensayo de cantidad de material más fino que pasa el tamiz N° 200 al agregado fino.

CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N° 200 (MTC E 202, NTP 400.018, ASTM 1140)			
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS			
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"			
MATERIAL	: AGREGADO FINO PARA MEZCLA DE CONCRETO	N° Registro	: CF - 01
MUESTRA	: ARENA GRUESA	Realizado por	: Abraham Palacios Almendro
CANTERA	: CERRO MOCHO - SULLANA	Fecha	: 24/05/2019
DATOS DE LA MUESTRA			
A	Peso de la muestra seca	1598.0	Grs.
B	Peso de la muestra seca después de lavado.....	1519.9	Grs.
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 =		4.9%	

No obstante, luego del ensayo de granulometría al agregado fino, obtenemos el módulo de fineza para ello calculamos primero el porcentaje retenido acumulado en los tamices N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100, tal como está definido en la sección 8.3.6, el módulo de fineza del agregado fino es:

$$M. F. = 3.2$$

En definitiva, se analizaron y compararon con los requisitos establecidos en las tablas 4.3 y 4.4, para determinar la calidad del agregado fino. Los resultados se indican en la tabla 10.18.

Tabla 10. 18. Resultados de los ensayos al agregado fino.

Ensayo	Requisito	Resultado	Cumple
Análisis granulométrico	Ver tabla 4.4	Huso especificado	No
Gravedad específica (kg/m3)	-	2649	-
Absorción (%)	4	2.02	Sí
Peso unitario suelto (kg/m3)	-	1446	-
Peso unitario compactado (kg/m3)	-	1647	-
Humedad (%)	-	2.86	-
Equivalente de arena, % mínimo	75	78	Sí
Material fino que pasa el tamiz N° 200, % máximo	3	4.9	No

10.2.4 Ensayos al agua

El agua empleada en la preparación de los 2 diseños de mezclas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 y f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², es potable, con lo cual de acuerdo a lo definido en la sección 4.3.2, no requiere previamente de los análisis químicos exigidos en las tablas 4.12 y 4.13. Por el contrario, para aguas no potables, si es un requisito necesario conocer previamente las cantidades de compuestos químicos dañinos en el agua para mezcla de concreto, sobre todo para elaborar concretos de clase reforzado, pre y post tensado f'_c (teórico) \geq 175 kg/cm², indicados en la tabla N° 503-07 Clases de concreto estructural - Sección 503 Concreto estructural – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG - 2013) – Manual de Carreteras (2013).

En consecuencia, el agua potable para la preparación y el curado de los testigos de concreto proviene de la red doméstica del distrito de 26 de Octubre en Piura. La misma que no tiene olor ni coloración, es decir, el agua es limpia, tal como se muestra en la figura 10.15.



Figura 10. 15. Agua potable para las mezclas de concreto.

10.3 DISEÑO DE MEZCLAS Y PREPARACIÓN DE LOS TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO

Luego de tener los resultados de los ensayos de calidad de los componentes de la mezcla de concreto, se procedió a realizar los diseños teóricos de las mezclas, aplicando los pasos indicados por el método del ACI (Instituto Americano del Concreto), el cual está descrito en la sección 8.3.

En tal sentido, se describe de manera resumida los valores adoptados en el procedimiento del diseño.

- Con el tamaño máximo del agregado grueso de 3/4" y un asentamiento de 6 a 7" que permita obtener una mezcla de consistencia fluida (tabla 8.2), estimamos el contenido de agua (a) y el porcentaje de aire no incorporado, para ello ingresamos a tabla 8.3, donde se tiene los siguientes resultados iniciales:

$$\text{agua de mezcla (a)} = 210 \text{ lt/m}^3; \text{aire no incorporado} = 2.0\%$$

- Calculamos la relación agua-cemento (a/c), para un concreto sin aire incorporado. Para ello las resistencias f'_c (teórico), serán incrementadas en un 20%. En consecuencia, las resistencias de diseño f'_{cr} (diseño), son:

$$\text{Para } f'_c \text{ (teórico)} = 280 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{cr} \text{ (diseño)} = 1.2 * 280 = 336 \text{ kg/cm}^2$$

De la tabla 8.4, la resistencia f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² estará entre 350 y 300 kg/cm² para relación agua-cemento (a/c) de 0.48 y 0.55, respectivamente:
Por interpolación, en este caso la relación a/c, es:

$$a/c = 0.50$$

$$\text{Para } f'_c \text{ (teórico)} = 210 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{cr} \text{ (diseño)} = 1.2 * 210 = 252 \text{ kg/cm}^2$$

De la tabla 8.4, la resistencia f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm² estará entre por 300 y 250 kg/cm² para relación a/c de 0.55 y 0.62, respectivamente:
Por interpolación, en este caso la relación a/c, es:

$$a/c = 0.60$$

- Calculamos el contenido de cemento (c) en kg/m³ de acuerdo a la expresión de la sección 8.3.5, con lo cual se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Para } f'_{cr} \text{ (diseño)} = 336 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow c &= \frac{210}{0.50} = 420 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Para } f'_{cr} \text{ (diseño)} = 252 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow c &= \frac{210}{0.60} = 350 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Luego, estimamos el volumen del agregado grueso para cada diseño, con los datos de T.M.= 3/4" y M.F.= 3.2, de acuerdo a la tabla 8.6, interpolando se obtiene:

$$\text{Vol. Agregado Grueso} = 0.58 = 58 \%$$

Si aproximamos el resultado, se tiene:

$$\text{Vol. Agregado Grueso} = 55 \%$$

Por lo tanto, el volumen del agregado fino será:

$$\text{Vol. Agregado Fino} = 45 \%$$

- De la tabla 8.7, con el T.M.= 3/4" y un concreto sin aire incorporado, el peso del concreto fresco aproximado será:

$$\text{Peso del concreto fresco} = 2355 \text{ kg/m}^3$$

- Colocamos los datos de los resultados de los ensayos del cemento, agregado grueso, agregado fino y los datos calculados del método ACI, a un formato de diseño de mezclas que se ha elaborado en gabinete.
- Luego, corregimos los pesos de los componentes de la mezcla, ingresando los porcentajes de humedad del agregado grueso y fino en el formato.
- Preparamos la primera prueba de mezcla de concreto, y verificamos el asentamiento (slump) para cada mezcla. Asimismo, inspeccionamos que tenga uniformidad, que no se tenga segregación ni exudación y la consistencia entre la pasta y los agregados.

- Finalmente, luego de ajustar el agua de mezcla para los 2 diseños, se tienen los diseños de mezcla teórico y práctico definitivo, que van a servir para la elaboración de las probetas de concreto en el presente estudio.

A continuación, los diseños de mezclas f'_c (teórico) = 280 kg/cm² y f'_c (teórico) = 210 kg/cm², de resistencias de diseño f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² y f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², respectivamente; se muestran en las tablas 10.19 y 10.20.

Tabla 10. 19. Resumen de diseño de mezclas para concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS																																																																																																																																			
HOJA DE CÁLCULO PARA DISEÑO DE MEZCLAS - ACI 211.1																																																																																																																																			
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"																																																																																																																																			
REALIZADO POR : Abraham Palacios Almendro					IDENTIFICACIÓN DEL CONCRETO : DMC - 01 (a/c= 0.50, T.M.= 3/4")																																																																																																																														
					TIPO DE CONCRETO : Concreto Reforzado																																																																																																																														
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA																																																																																																																																			
Módulos de Fineza <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>M.F. Arena</td> <td style="text-align: center;">3.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>M.F. Piedra</td> <td style="text-align: center;">6.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>M.F. Global</td> <td style="text-align: center;">5.1</td> <td></td> </tr> </table>					M.F. Arena	3.2		M.F. Piedra	6.7		M.F. Global	5.1		Dosificación Cementante total 467.5 Kg Relación agua-cemento (a/c) : 0.50		f'c (teórico) : 280 Kg/cm ²		Realizado por : AIPA Fecha : 16/05/2019																																																																																																																	
M.F. Arena	3.2																																																																																																																																		
M.F. Piedra	6.7																																																																																																																																		
M.F. Global	5.1																																																																																																																																		
Vol. Agregados 0.59172 m³ Arena 45 % Piedra T.M.= 3/4" 55 % 100 %					f'cr (diseño) : 336 Kg/cm ²		Prueba : TANDA 1																																																																																																																												
					Especificaciones Slump = 6" - 7"																																																																																																																														
					Peso unitario suelto Grava = 1529 Kg/m³ Peso unitario suelto Arena = 1446 Kg/m³ Volumen de tanda de prueba 0.050 m³																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>MATERIALES</th> <th>PROCEDENCIA</th> <th>P. ESP. kg/m³</th> <th>HUM. %</th> <th>ABS. %</th> <th>PESO SECO kg/m³</th> <th>VOL. (m³)</th> <th>PESO S.S.S. kg/m³</th> <th>CORRECCIÓN POR HUMEDAD (Kg)</th> <th>TANDA DE PRUEBA 09 moldes DOSIFICACIÓN</th> <th>UNIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cemento TIPO I</td> <td>Empresa Pacasmayo</td> <td>3050</td> <td></td> <td></td> <td>467.5</td> <td>0.15328</td> <td>467.5</td> <td>467.5</td> <td>23.38</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td>Potable</td> <td>1000</td> <td></td> <td></td> <td>235.0</td> <td>0.23500</td> <td>265.2</td> <td>243.5</td> <td>12.18</td> <td>Lt</td> </tr> <tr> <td>Arena</td> <td>Cantera "Cerro Mocho"</td> <td>2649</td> <td>2.86</td> <td>2.02</td> <td>705.4</td> <td>0.26627</td> <td>705.4</td> <td>725.5</td> <td>36.28</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>Piedra T.M.= 3/4"</td> <td>Cantera "Sojo"</td> <td>2615</td> <td>0.17</td> <td>1.87</td> <td>851.0</td> <td>0.32545</td> <td>851.0</td> <td>852.5</td> <td>42.62</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aire total (%)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.0%</td> <td>0.02000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.00000 m³</td> <td>2289 Kg</td> <td>2289 Kg</td> <td>114.45 Kg</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>											MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP. kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL. (m ³)	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD (Kg)	TANDA DE PRUEBA 09 moldes DOSIFICACIÓN	UNIDAD	Cemento TIPO I	Empresa Pacasmayo	3050			467.5	0.15328	467.5	467.5	23.38	kg	Agua	Potable	1000			235.0	0.23500	265.2	243.5	12.18	Lt	Arena	Cantera "Cerro Mocho"	2649	2.86	2.02	705.4	0.26627	705.4	725.5	36.28	kg	Piedra T.M.= 3/4"	Cantera "Sojo"	2615	0.17	1.87	851.0	0.32545	851.0	852.5	42.62	kg																																													Aire total (%)					2.0%	0.02000					TOTAL						1.00000 m ³	2289 Kg	2289 Kg	114.45 Kg	
MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP. kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL. (m ³)	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD (Kg)	TANDA DE PRUEBA 09 moldes DOSIFICACIÓN	UNIDAD																																																																																																																									
Cemento TIPO I	Empresa Pacasmayo	3050			467.5	0.15328	467.5	467.5	23.38	kg																																																																																																																									
Agua	Potable	1000			235.0	0.23500	265.2	243.5	12.18	Lt																																																																																																																									
Arena	Cantera "Cerro Mocho"	2649	2.86	2.02	705.4	0.26627	705.4	725.5	36.28	kg																																																																																																																									
Piedra T.M.= 3/4"	Cantera "Sojo"	2615	0.17	1.87	851.0	0.32545	851.0	852.5	42.62	kg																																																																																																																									
Aire total (%)					2.0%	0.02000																																																																																																																													
TOTAL						1.00000 m ³	2289 Kg	2289 Kg	114.45 Kg																																																																																																																										
CONTROL DE CALIDAD																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Inicio Mezclado</td> <td style="text-align: center;">14:40</td> <td>hrs</td> </tr> <tr> <td>Fin Mezclado</td> <td style="text-align: center;">14:42</td> <td>hrs</td> </tr> <tr> <td>Slump inicial</td> <td style="text-align: center;">4.5</td> <td>Pulg</td> </tr> <tr> <td>Temp. Ambiente</td> <td style="text-align: center;">31</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Temp. Concreto</td> <td style="text-align: center;">26</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Probetas</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td>Und</td> </tr> </table>					Inicio Mezclado	14:40	hrs	Fin Mezclado	14:42	hrs	Slump inicial	4.5	Pulg	Temp. Ambiente	31	°C	Temp. Concreto	26	°C	Probetas	9	Und	Proporción en peso sin corrección por humedad por m³ de mezcla <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cemento (Bls)</td> <td>Arena (Kg)</td> <td>Piedra 3/4" (Kg)</td> <td>Agua (Lt)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">11.0</td> <td style="text-align: center;">705.4</td> <td style="text-align: center;">851.0</td> <td style="text-align: center;">265.2</td> </tr> </table>						Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)	11.0	705.4	851.0	265.2																																																																																															
Inicio Mezclado	14:40	hrs																																																																																																																																	
Fin Mezclado	14:42	hrs																																																																																																																																	
Slump inicial	4.5	Pulg																																																																																																																																	
Temp. Ambiente	31	°C																																																																																																																																	
Temp. Concreto	26	°C																																																																																																																																	
Probetas	9	Und																																																																																																																																	
Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)																																																																																																																																
11.0	705.4	851.0	265.2																																																																																																																																
					Proporción en peso sin corrección por humedad por bolsa de cemento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cemento (Bls)</td> <td>Arena (Kg)</td> <td>Piedra 3/4" (Kg)</td> <td>Agua (Lt)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.0</td> <td style="text-align: center;">64.12</td> <td style="text-align: center;">77.37</td> <td style="text-align: center;">24.11</td> </tr> </table>						Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)	1.0	64.12	77.37	24.11																																																																																																																	
Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)																																																																																																																																
1.0	64.12	77.37	24.11																																																																																																																																
					Proporción en peso con corrección por humedad por bolsa de cemento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cemento (Bls)</td> <td>Arena (Kg)</td> <td>Piedra 3/4" (Kg)</td> <td>Agua (Lt)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.0</td> <td style="text-align: center;">65.96</td> <td style="text-align: center;">77.50</td> <td style="text-align: center;">22.14</td> </tr> </table>						Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)	1.0	65.96	77.50	22.14																																																																																																																	
Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)																																																																																																																																
1.0	65.96	77.50	22.14																																																																																																																																

Tabla 10. 20. Resumen de diseño de mezclas para concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS																																																																																																																								
HOJA DE CÁLCULO PARA DISEÑO DE MEZCLAS - ACI 211.1																																																																																																																								
PROYECTO : "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"																																																																																																																								
REALIZADO POR : Abraham Palacios Almendro					IDENTIFICACIÓN DEL CONCRETO : DMC - 02 (a/c= 0.60, TMN= 3/4") TIPO DE CONCRETO : Concreto Reforzado																																																																																																																			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA																																																																																																																								
Módulos de Fineza <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>M.F. Arena</td> <td style="text-align: center;">3.2</td> </tr> <tr> <td>M.F. Piedra</td> <td style="text-align: center;">6.7</td> </tr> <tr> <td>M.F. Global</td> <td style="text-align: center;">5.1</td> </tr> </table>					M.F. Arena	3.2	M.F. Piedra	6.7	M.F. Global	5.1	Dosificación Cementante total 403.8 Kg Relación agua-cemento (a/c) : 0.60		f'c (teórico) : 210 Kg/cm ² Realizado por : AIPA Fecha : 20/05/2019 f'cr (diseño) : 252 Kg/cm ² Prueba : TANDA 1		Especificaciones <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> Slump = 6" - 7" </div>																																																																																																									
M.F. Arena	3.2																																																																																																																							
M.F. Piedra	6.7																																																																																																																							
M.F. Global	5.1																																																																																																																							
Vol. Agregados <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Arena</td> <td style="text-align: center;">0.60662</td> <td style="text-align: center;">m3</td> </tr> <tr> <td>Piedra TMN= 3/4"</td> <td style="text-align: center;">45</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">55</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> </table>					Arena	0.60662	m3	Piedra TMN= 3/4"	45	%		55	%		100	%	Bolsas		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Peso unitario suelto Grava =</td> <td style="text-align: center;">1529 Kg/m3</td> </tr> <tr> <td>Peso unitario suelto Arena =</td> <td style="text-align: center;">1446 Kg/m3</td> </tr> <tr> <td>Volumen de tanda de prueba</td> <td style="text-align: center;">0.050 m3</td> </tr> </table>				Peso unitario suelto Grava =	1529 Kg/m3	Peso unitario suelto Arena =	1446 Kg/m3	Volumen de tanda de prueba	0.050 m3																																																																																												
Arena	0.60662	m3																																																																																																																						
Piedra TMN= 3/4"	45	%																																																																																																																						
	55	%																																																																																																																						
	100	%																																																																																																																						
Peso unitario suelto Grava =	1529 Kg/m3																																																																																																																							
Peso unitario suelto Arena =	1446 Kg/m3																																																																																																																							
Volumen de tanda de prueba	0.050 m3																																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>MATERIALES</th> <th>PROCEDENCIA</th> <th>P. ESP. kg/m³</th> <th>HUM. %</th> <th>ABS. %</th> <th>PESO SECO kg/m³</th> <th>VOL. (m3)</th> <th>PESO S.S.S. kg/m³</th> <th>CORRECCIÓN POR HUMEDAD (Kg)</th> <th>TANDA DE PRUEBA 09 moldes DOSIFICACIÓN</th> <th>UNIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cemento TIPO I</td> <td>Empresa Pacasmayo</td> <td>3050</td> <td></td> <td></td> <td>403.8</td> <td>0.13238</td> <td>403.8</td> <td>403.8</td> <td>20.19</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td>Potable</td> <td>1000</td> <td></td> <td></td> <td>241.0</td> <td>0.24100</td> <td>271.9</td> <td>249.8</td> <td>12.49</td> <td>Lt</td> </tr> <tr> <td>Arena</td> <td>Cantera "Cerro Mocho"</td> <td>2649</td> <td>2.86</td> <td>2.02</td> <td>723.1</td> <td>0.27298</td> <td>723.1</td> <td>743.8</td> <td>37.19</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>Piedra TMN= 3/4"</td> <td>Cantera "Sojo"</td> <td>2615</td> <td>0.17</td> <td>1.87</td> <td>872.5</td> <td>0.33364</td> <td>872.5</td> <td>874.0</td> <td>43.70</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aire total (%)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.0%</td> <td>0.02000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.00000 m3</td> <td>2271 Kg</td> <td>2271 Kg</td> <td>113.56 Kg</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>											MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP. kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL. (m3)	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD (Kg)	TANDA DE PRUEBA 09 moldes DOSIFICACIÓN	UNIDAD	Cemento TIPO I	Empresa Pacasmayo	3050			403.8	0.13238	403.8	403.8	20.19	kg	Agua	Potable	1000			241.0	0.24100	271.9	249.8	12.49	Lt	Arena	Cantera "Cerro Mocho"	2649	2.86	2.02	723.1	0.27298	723.1	743.8	37.19	kg	Piedra TMN= 3/4"	Cantera "Sojo"	2615	0.17	1.87	872.5	0.33364	872.5	874.0	43.70	kg																																		Aire total (%)					2.0%	0.02000					TOTAL						1.00000 m3	2271 Kg	2271 Kg	113.56 Kg	
MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP. kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL. (m3)	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD (Kg)	TANDA DE PRUEBA 09 moldes DOSIFICACIÓN	UNIDAD																																																																																																														
Cemento TIPO I	Empresa Pacasmayo	3050			403.8	0.13238	403.8	403.8	20.19	kg																																																																																																														
Agua	Potable	1000			241.0	0.24100	271.9	249.8	12.49	Lt																																																																																																														
Arena	Cantera "Cerro Mocho"	2649	2.86	2.02	723.1	0.27298	723.1	743.8	37.19	kg																																																																																																														
Piedra TMN= 3/4"	Cantera "Sojo"	2615	0.17	1.87	872.5	0.33364	872.5	874.0	43.70	kg																																																																																																														
Aire total (%)					2.0%	0.02000																																																																																																																		
TOTAL						1.00000 m3	2271 Kg	2271 Kg	113.56 Kg																																																																																																															
CONTROL DE CALIDAD																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Inicio Mezclado</td> <td style="text-align: center;">10:20</td> <td>hrs</td> </tr> <tr> <td>Fin Mezclado</td> <td style="text-align: center;">10:22</td> <td>hrs</td> </tr> <tr> <td>Slump inicial</td> <td style="text-align: center;">6.25</td> <td>Pulg</td> </tr> <tr> <td>Temp. Ambiente</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Temp. Concreto</td> <td style="text-align: center;">26</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Probetas</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td>Und</td> </tr> </table>					Inicio Mezclado	10:20	hrs	Fin Mezclado	10:22	hrs	Slump inicial	6.25	Pulg	Temp. Ambiente	28	°C	Temp. Concreto	26	°C	Probetas	9	Und	Proporción en peso sin corrección por humedad por m³ de mezcla <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Cemento (Bls)</td> <td>Arena (Kg)</td> <td>Piedra 3/4" (Kg)</td> <td>Agua (Lt)</td> </tr> <tr> <td>9.5</td> <td>723.1</td> <td>872.5</td> <td>271.9</td> </tr> </table>						Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)	9.5	723.1	872.5	271.9																																																																																				
Inicio Mezclado	10:20	hrs																																																																																																																						
Fin Mezclado	10:22	hrs																																																																																																																						
Slump inicial	6.25	Pulg																																																																																																																						
Temp. Ambiente	28	°C																																																																																																																						
Temp. Concreto	26	°C																																																																																																																						
Probetas	9	Und																																																																																																																						
Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)																																																																																																																					
9.5	723.1	872.5	271.9																																																																																																																					
					Proporción en peso sin corrección por humedad por bolsa de cemento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Cemento (Bls)</td> <td>Arena (Kg)</td> <td>Piedra 3/4" (Kg)</td> <td>Agua (Lt)</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>76.12</td> <td>91.84</td> <td>28.62</td> </tr> </table>						Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)	1.0	76.12	91.84	28.62																																																																																																						
Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)																																																																																																																					
1.0	76.12	91.84	28.62																																																																																																																					
					Proporción en peso con corrección por humedad por bolsa de cemento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Cemento (Bls)</td> <td>Arena (Kg)</td> <td>Piedra 3/4" (Kg)</td> <td>Agua (Lt)</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>78.30</td> <td>92.00</td> <td>26.29</td> </tr> </table>						Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)	1.0	78.30	92.00	26.29																																																																																																						
Cemento (Bls)	Arena (Kg)	Piedra 3/4" (Kg)	Agua (Lt)																																																																																																																					
1.0	78.30	92.00	26.29																																																																																																																					

El equipo y las herramientas utilizados para preparar las mezclas de concreto y el pesado de cada uno de los componentes, se indican en las figuras 10.16, 10.17, 10.18, 10.19 y 10.20.



Figura 10. 16. Equipo para preparar las mezclas de concreto.



Figura 10. 17. Pesado del cemento para la mezcla de concreto.



Figura 10. 18. Pesado del agregado grueso para la mezcla de concreto.



Figura 10. 19. Pesado del agregado fino para la mezcla de concreto.



Figura 10. 20. Pesado del agua para la mezcla de concreto.

Luego de ello, se procedió al mezclado de todos los componentes por un periodo de 2 minutos, donde la mezcla queda homogénea y completamente hidratada.

A la mezcla ya preparada, se le realizó el ensayo de asentamiento (Slump). Después de verificar su consistencia, se inició el colocado de la mezcla en cada molde de concreto, se colocó la mezcla en tres capas, con el varillado en cada capa y el golpeo lateral del molde con el martillo de goma para acomodar y reducir los vacíos de la mezcla compactada. No obstante, dicho procedimiento se realizó conforme lo indican las normas NTP 339.033 y ASTM C 31 (tabla 6.1), de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en campo.

En efecto, tras el varillado de la tercera capa, se enraza y se le da el acabado final a cada probeta de concreto elaborada.

Finalmente, el mezclado y acabado de las probetas cilíndricas de cada diseño de mezclas de concreto, se muestran en las figuras 10.21, 10.22, 10.23, 10.24, 10.25 y 10.26.



Figura 10. 21. Mezclado de los componentes de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².



Figura 10. 22. Mezclado de los componentes de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².



Figura 10. 23. Varillado de los testigos de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².



Figura 10. 24. Varillado de los testigos de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².



Figura 10. 25. Acabado de los testigos de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².



Figura 10. 26. Acabado de los testigos de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

10.4 ENSAYO DE ASENTAMIENTO AL CONCRETO FRESCO

Las dos mezclas de concreto fresco f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² y f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², tras ser mezcladas deben ser ensayadas inmediatamente en el equipo de consistencia, para determinar el asentamiento y evaluar si el contenido de agua de mezclado, permite obtener un slump menor o igual al de diseño. Asimismo, notar si la mezcla presenta poca trabajabilidad, segregación, exudación y homogeneidad. En este sentido, la descripción del ensayo de asentamiento con el cono de Abrams, lo indican las normas NTP 339.035 y ASTM C 143.

Los slump obtenidos para las mezclas de concreto de f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² y f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm² fueron de 4.5" y 6.25", respectivamente. Con ello, se verificó que las mezclas de concreto obtenidas son entre consistencia plástica y fluida, menores al slump de diseño de 6" a 7".

En consecuencia, el equipo de consistencia y el ensayo de asentamiento de los 2 diseños de f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² y f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², se muestran en las figuras 10.27, 10.28 y 10.29.



Figura 10. 27. Equipo para ensayo de asentamiento en concreto fresco.



Figura 10. 28. Ensayo de asentamiento a la mezcla de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².



Figura 10. 29. Ensayo de asentamiento a la mezcla de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

10.5 CURADO ACELERADO Y NORMAL DE LAS PROBETAS

Las probetas elaboradas fueron retiradas de cada molde después de un tiempo mínimo de 10 a 12 horas de elaboradas. Tras ello, cada probeta es identificada con los datos de un código de registro, resistencia especificada, relación a/c, fecha de vaciado, método de curado y edad de rotura.

Por consiguiente, en las figuras 10.30 y 10.31, se muestran las probetas de concreto identificadas para su posterior método de curado acelerado o normal.



Figura 10. 30. Identificación de probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² para el curado acelerado o normal.



Figura 10. 31. Identificación de probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm² para el curado acelerado o normal.

A continuación, se describen los métodos curado aplicado a las probetas de concreto: curado acelerado con agua hirviendo y curado normal (estándar).

10.5.1 Curado acelerado con agua hirviendo a las probetas de concreto

Se confeccionó un equipo de curado acelerado a partir de materiales disponibles y económicos. No obstante, el equipo confeccionado consta de los siguientes elementos:

- Una cocina industrial de dos hormillas.
- Dos recipientes metálicos (latón) de dimensiones: base cuadrada de 25 cm x 25 cm y altura 50 cm.
- Dos canastillas de fierro.
- Una olla arrocera.
- Un balón de gas.

En tal sentido, la figura 10.32 muestra el equipo de curado acelerado implementado para ejecutar el procedimiento B (método de agua hirviendo), indicado en las normas NTP 339.213 y ASTM C 684 - 99.



Figura 10. 32. Equipo confeccionado para el curado acelerado de probetas de concreto.

El procedimiento seguido para el curado acelerado con agua hirviendo fue el siguiente:

- Llenamos cada recipiente de curado acelerado con 20 litros de agua potable.
- Luego, se colocan y tapan los recipientes con agua sobre cada hornilla de la cocina industrial y se ponen a hervir por un tiempo de 40 minutos.
- Mientras tanto, se preparan las dos probetas de concreto para ser curadas con agua hirviendo y se colocan cada una en la canastilla.
- Una vez que el agua de los recipientes hierve, se colocan con cuidado las canastillas dentro de cada recipiente, y se toma la hora en que ambas probetas están sumergidas en el agua hirviendo.
- A partir de ese momento, aproximadamente cada 30 minutos se hierve aparte 2 litros de agua en la olla arrocera, para agregarle una vez que hierve, la mitad de agua a cada recipiente, puesto que, se ha evaporado una parte del agua inicial en cada uno.
- Durante 3.5 horas se mantienen las probetas dentro en los recipientes con agua hirviendo y luego se retiran las canastillas despacio.
- Se retiran las probetas de las canastillas y se dejan enfriar por un periodo de 2 horas, desde que son retiradas del agua hirviendo. Mientras, tanto se protegen bajo sombra a temperatura de ambiente.
- Asimismo, se han elaborado probetas de concreto para ponerlas en curado acelerado luego del: 1er. día, 2do. día tras 1 día de curado normal y 3er. día tras 2 días de curado normal.
- Finalmente, son ensayadas en la prensa de rotura de probetas para determinar la resistencia a la compresión simple del concreto.

A continuación, se muestra en las figuras 10.33, 10.34, 10.35, 10.36 y 10.37, el procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo (sección 9.2.1) realizado a las probetas de concreto.



Figura 10. 33. Colocado de probetas de concreto en recipiente de curado acelerado.



Figura 10. 34. Procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo.



Figura 10. 35. Retiro de probetas de concreto del recipiente de curado acelerado.



Figura 10. 36. Secado de probetas de concreto curadas con agua hirviendo.



Figura 10. 37. Ensayo a la compresión simple de probetas de concreto con curado acelerado.

10.5.2 Curado normal de probetas de concreto

El curado normal y/o estándar de probetas cilíndricas de concreto en campo, está descrito en las normas NTP 339.033 y ASTM C 31.

No obstante, se empleó un tanque metálico en forma de cilindro, cuyas dimensiones son; diámetro 55 cm y altura 85 cm.

El procedimiento seguido para el curado normal con agua potable, fue el siguiente:

- El tanque metálico es llenado con agua potable hasta la mitad de su altura.
- Las probetas son agrupadas de acuerdo a su diseño $f'c$ (teórico).
- Con cuidado se sumergen en el agua a temperatura de ambiente primero las probetas de edad 28 días de ambos diseños $f'cr$ (diseño) = 336 kg/cm² y $f'cr$ (diseño) = 252 kg/cm².
- Luego, son colocadas las probetas de edad de 14 días, hasta ocupar toda el área de la base y las demás encima de las primeras ya colocadas.
- Las probetas de edad de 7 días son coladas al último, encima de las anteriores.
- Son mantenidas todo el tiempo en el cilindro de curado normal, hasta la fecha que debe ser sometida al ensayo de compresión simple del concreto.
- Por ello, se lleva un control de rotura de las probetas de concreto, para que sean retiradas del curado normal de acuerdo a la fecha indicada, después de elaboradas.
- Además, se elaboraron 4 probetas de concreto de cada diseño para ponerlas en curado normal durante: 2 días después del 1er. día de curado acelerado, 4 días después del 1er. día de curado acelerado $f'cr$ (diseño) = 336 kg/cm² y 5 días después del 1er. día de curado acelerado $f'cr$ (diseño) = 252 kg/cm².
- Luego de retiradas, se dejan secar bajo sombra a la temperatura de ambiente por un tiempo mínimo de 2 horas.
- Finalmente, con el transcurso de los días, las probetas se irán retirando en el orden de 2, 4, 7, 14 y 28 días de edad, para ser llevadas y ensayadas a la compresión simple, en la prensa de rotura de probetas de concreto.

En efecto, en las figuras 10.38, 10.39 y 10.40, se muestra el procedimiento de curado normal (sección 7.2.1 a)) realizado a las probetas de concreto.



Figura 10. 38. Tanque de curado normal para probetas de concreto.



Figura 10. 39. Secado de probetas de concreto con curado normal.



Figura 10. 40. Ensayo a la compresión simple de probetas de concreto con curado normal.

10.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO

El método de ensayo a la compresión simple de probetas de concreto, se indica en las normas NTP 339.034 y ASTM C 39.

Sin embargo, el procedimiento seguido para en ensayo de resistencia a la compresión simple del concreto en laboratorio, fue el siguiente:

- Tras el método de curado acelerado o normal, las probetas son llevadas a la prensa de rotura de probetas en laboratorio.
- Cada probeta es colocada dentro de la prensa de concreto en los 2 platos de acero (parte superior e inferior de la probeta) y se centra en la marca indicada por la placa base.
- Se cierra la rejilla de la prensa y se aplica la carga constante perpendicular a la sección transversal de la probeta de concreto.
- Mientras tanto, el valor de carga avanza hasta que la probeta falla y se detiene la lectura del dial digital de la prensa.
- Se toma nota del valor de la carga máxima aplicada y del tipo de falla producida por la rotura de la probeta.
- Finalmente, los datos tomados son procesados en los formatos creados para el control de roturas de probetas de concreto.

No obstante, en las figuras 10.41, 10.42 y 10.43, se muestra el procedimiento del ensayo a la compresión simple (sección 6.1) realizado a las probetas de concreto.



Figura 10. 41. Prensa de rotura de probetas de concreto.



Figura 10. 42. Rotura de las probetas de concreto.



Figura 10. 43. Falla de las probetas de concreto.

Finalmente, los tipos de fallas que se han presentado tras las roturas de las probetas de concreto, se indican en la figura 10.44.

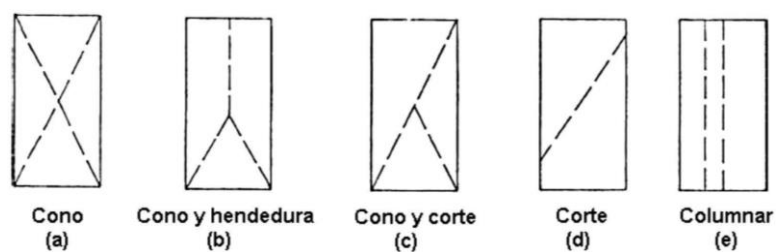


Figura 10. 44. Tipos de fallas en probetas estándar de concreto.

Fuente: Figura 2. Esquemas de los tipos de falla. Sección N° 7 Concreto. MTC E 704 Resistencia a la compresión testigos cilíndricos (Manual de ensayo de materiales, 2016)

10.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados se basó en cuadros y gráficos elaborados a partir del procesamiento de todos los resultados obtenidos en los formatos elaborados. No obstante, ayudando a establecer todas las conclusiones teórico-prácticas del presente estudio.

Mientras tanto, las probetas de concreto elaboradas en un principio tenían como propósito desarrollar el procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo al día siguiente, para los 2 diseños especificados de $f'c$ (teórico) = 280 kg/cm² y $f'c$ (teórico) = 210 kg/cm², identificándose DMC - 01 y DMC - 02, respectivamente. Y de resistencias de diseño respectivas: $f'cr$ (diseño) = 336 kg/cm² y $f'cr$ (diseño) = 252 kg/cm².

Además, al mismo tiempo se elaboraron 7 probetas de concreto de cada diseño, para el procedimiento de curado normal (estándar) y determinar su resistencia a la compresión simple a los 7, 14 y 28 días.

Luego de desarrollar el procedimiento de curado acelerado de 2 probetas de diseño DMC - 01 y 2 probetas de diseño DMC - 02, se decidió aplicar el método al 2do. y 3er. día, tras haberse curado de manera normal durante 1 y 2 días en el tanque de curado, con la finalidad de conocer el crecimiento de la resistencia del concreto. Para ello, se elaboraron 4 probetas más de cada diseño.

No obstante, al procesar los valores de las roturas de probetas de edad 2 y 3 días, donde el curado acelerado se aplicó al 2do y 3er. día de elaboradas, el desarrollo de la resistencia promedio fue de 54.2 y 58.5 % en el diseño DMC - 01, y 49.9 y 54.3 % en el diseño DMC - 02, respectivamente, de la resistencia promedio obtenida a los 28 días, en cada caso.

Luego, se decidió elaborar 4 probetas de concreto de cada diseño para ser puestas en curado normal y conocer su resistencia a la edad de 2 y 4 días. Adicionalmente, se elaboraron 2 probetas de cada diseño para el ensayo a la compresión al día siguiente, sin ser puestas en curado.

Mientras tanto, tras las roturas de las 8 probetas anteriores, se estableció que el crecimiento del porcentaje de la resistencia promedio a los 2 y 4 días de curado normal fue de 56.2 y 69.7 % en el diseño DMC - 01, y 59.3 y 72.5 % en el diseño DMC - 02, respectivamente, de la resistencia promedio obtenida los 28 días, en cada caso.

Y finalmente, se elaboraron 4 probetas de concreto para cada diseño, siendo sometidas a curado acelerado con agua hirviendo al día siguiente, luego se pusieron en curado normal y fueron ensayadas a la compresión simple en los días 3 y 5 para el diseño DMC - 01, y los días 3 y 6 para el diseño DMC - 02. Y tras procesar sus resultados, se concluyó que en ningún caso el desarrollo de la resistencia llegará a ser como mínimo la resistencia $f'c$ (teórico), en cada caso.

En efecto, todos los porcentajes de resistencia dados anteriormente, fueron del procesamiento final de los resultados, tras conocer la resistencia de curado normal del concreto a los 28 días de las 3 probetas elaboradas de cada diseño: DMC - 01 $f'c$ (laboratorio) = 344.9 kg/cm² y DMC - 02 $f'c$ (laboratorio) = 250.8 kg/cm².

A continuación, en las tablas 10.21 y 10.22, se muestra el registro y control de todas las roturas de las probetas de los 2 diseños, DMC - 01 y DMC - 02. Asimismo, se indica el proceso de curado aplicado en cada probeta ensayada según sea cada caso.

Tabla 10. 21. Control de roturas de probetas de concreto para diseño DMC - 01; f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS																
PROYECTO		"INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"														
REALIZADO POR		Abraham Palacios Almendro										Relación agua-cemento (a/c)		: 0.50		
MUESTRA		Probetas de Concreto										f'cr (diseño)		: 336 kg/cm2		
FECHA		Indicadas										N° de Registro		: RP - 01		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO																
MTC E 704 - N.T.P. 339.034 - A.S.T.M. C 39																
Serie N°	Fecha		Diseño	Proceso de Curado	Temp. Ambiente	Temp. Mezcla	Hora de Rotura	Edad (Días)	f'cr (diseño) (kg/cm²)	Slump (Pulg.)	Lectura Dial (Kg.)	Diám. ϕ	Área (cm²)	Resisten. (kg/cm²)	Resist. Prom. (kg/cm²)	Prom. (%)
	Moldeo	Rotura														
1	16-May-19	17-May-19	DMC - 01 f'cr (diseño) = 336 kg/cm2 a/c= 0.50	Acelerado	30° C	26° C	14:47	1	336	4 1/2	31778	15.2	182.4	174.2	177.6	52.9
2	16-May-19	17-May-19		Acelerado	30° C	26° C	14:49	1	336	4 1/2	33012	15.2	182.4	181.0		
3	21-May-19	23-May-19		Normal y Acelerado	27° C	26° C	14:50	2	336	4 1/2	33583	15.2	182.4	184.1	186.8	55.6
4	21-May-19	23-May-19		Normal y Acelerado	27° C	26° C	14:55	2	336	4 1/2	34581	15.2	182.4	189.6		
5	21-May-19	24-May-19		Normal y Acelerado	27° C	26° C	14:40	3	336	4 1/2	36332	15.2	182.4	199.2	201.7	60.0
6	21-May-19	24-May-19		Normal y Acelerado	27° C	26° C	14:44	3	336	4 1/2	37267	15.2	182.4	204.3		
7	2-Jun-19	5-Jun-19		Acelerado y Normal	26° C	26° C	12:34	3	336	4 1/2	34135	15.2	182.4	187.1	187.5	55.8
8	2-Jun-19	5-Jun-19		Acelerado y Normal	26° C	26° C	12:36	3	336	4 1/2	34261	15.2	182.4	187.8		
9	2-Jun-19	7-Jun-19		Acelerado y Normal	26° C	26° C	11:58	5	336	4 1/2	36415	15.2	182.4	199.6	200.9	59.8
10	2-Jun-19	7-Jun-19		Acelerado y Normal	26° C	26° C	12:00	5	336	4 1/2	36867	15.2	182.4	202.1		
11	27-May-19	28-May-19		Sin curado	31° C	26° C	14:39	1	336	4 1/2	24552	15.2	182.4	134.6	127.1	37.8
12	27-May-19	28-May-19		Sin curado	31° C	26° C	14:41	1	336	4 1/2	21813	15.2	182.4	119.6		
13	27-May-19	29-May-19		Normal	31° C	26° C	13:40	2	336	4 1/2	33842	15.2	182.4	185.5	193.9	57.7
14	27-May-19	29-May-19		Normal	31° C	26° C	13:42	2	336	4 1/2	36908	15.2	182.4	202.3		
15	27-May-19	31-May-19		Normal	31° C	26° C	10:18	4	336	4 1/2	43299	15.2	182.4	237.4	240.5	71.6
16	27-May-19	31-May-19		Normal	31° C	26° C	10:20	4	336	4 1/2	44452	15.2	182.4	243.7		
17	16-May-19	23-May-19		Normal	30° C	26° C	14:44	7	336	4 1/2	48756	15.2	182.4	267.3	273.1	81.3
18	16-May-19	23-May-19		Normal	30° C	26° C	14:47	7	336	4 1/2	50874	15.2	182.4	278.9		
19	16-May-19	31-May-19		Normal	30° C	26° C	10:13	15	336	4 1/2	58735	15.2	182.4	322.0	320.2	95.3
20	16-May-19	31-May-19		Normal	30° C	26° C	10:15	15	336	4 1/2	58071	15.2	182.4	318.4		
21	16-May-19	13-Jun-19		Normal	30° C	26° C	12:15	28	336	4 1/2	62622	15.2	182.4	343.3	344.9	102.6
22	16-May-19	13-Jun-19		Normal	30° C	26° C	10:17	28	336	4 1/2	64945	15.2	182.4	356.0		
23	16-May-19	13-Jun-19		Normal	30° C	26° C	10:20	28	336	4 1/2	61167	15.2	182.4	335.3		

Tabla 10. 22. Control de roturas de probetas de concreto para diseño DMC - 02; f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS																
PROYECTO		"INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"														
REALIZADO POR		Abraham Palacios Almendro										Relación agua-cemento (a/c)		: 0.60		
MUESTRA		Probetas de Concreto										f' cr (diseño)		: 252 kg/cm2		
FECHA		Indicadas										N° de Registro		: RP - 02		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO																
MTC E 704 - N.T.P. 339.034 - A.S.T.M. C 39																
Serie N°	Fecha		Diseño	Proceso de Curado	Temp. Ambiente	Temp. Mezcla	Hora de Rotura	Edad (Días)	f' cr (diseño) (kg/cm²)	Slump (Pulg.)	Lectura Dial (Kg.)	Diám. ϕ	Área (cm²)	Resisten. (kg/cm²)	Resist. Prom. (kg/cm²)	Prom %
	Moldeo	Rotura														
1	20-May-19	21-May-19	DMC - 02 f' cr (diseño) = 252 kg/cm2 a/c= 0.60	Acelerado	28° C	26° C	14:48	1	252	6 1/4	20915	15.2	182.4	114.7	114.8	45.6
2	20-May-19	21-May-19		Acelerado	28° C	26° C	14:50	1	252	6 1/4	20978	15.2	182.4	115.0		
3	20-May-19	22-May-19		Normal y Acelerado	28° C	26° C	14:54	2	252	6 1/4	22842	15.2	182.4	125.2	125.1	49.7
4	20-May-19	22-May-19		Normal y Acelerado	28° C	26° C	14:56	2	252	6 1/4	22815	15.2	182.4	125.1		
5	21-May-19	24-May-19		Normal y Acelerado	27° C	26° C	14:49	3	252	6 1/4	24706	15.2	182.4	135.4	136.2	54.0
6	21-May-19	24-May-19		Normal y Acelerado	27° C	26° C	14:51	3	252	6 1/4	24978	15.2	182.4	136.9		
7	1-Jun-19	4-Jun-19		Acelerado y Normal	31° C	26° C	13:13	3	252	6 1/4	24689	15.2	182.4	135.4	129.4	51.3
8	1-Jun-19	4-Jun-19		Acelerado y Normal	31° C	26° C	13:15	3	252	6 1/4	22520	15.2	182.4	123.5		
9	1-Jun-19	7-Jun-19		Acelerado y Normal	31° C	26° C	11:53	6	252	6 1/4	26767	15.2	182.4	146.7	149.1	59.2
10	1-Jun-19	7-Jun-19		Acelerado y Normal	31° C	26° C	11:55	6	252	6 1/4	27637	15.2	182.4	151.5		
11	27-May-19	28-May-19		Sin curado	28° C	26° C	14:44	1	252	6 1/4	15898	15.2	182.4	87.2	86.8	34.5
12	27-May-19	28-May-19		Sin curado	28° C	26° C	14:46	1	252	6 1/4	15781	15.2	182.4	86.5		
13	27-May-19	29-May-19		Normal	28° C	26° C	13:45	2	252	6 1/4	28498	15.2	182.4	156.2	148.7	59.0
14	27-May-19	29-May-19		Normal	28° C	26° C	13:47	2	252	6 1/4	25760	15.2	182.4	141.2		
15	27-May-19	31-May-19		Normal	28° C	26° C	10:23	4	252	6 1/4	32893	15.2	182.4	180.3	181.8	72.1
16	27-May-19	31-May-19		Normal	28° C	26° C	10:25	4	252	6 1/4	33428	15.2	182.4	183.3		
17	20-May-19	28-May-19		Normal	28° C	26° C	14:34	8	252	6 1/4	38500	15.2	182.4	211.1	202.8	80.5
18	20-May-19	28-May-19		Normal	28° C	26° C	14:36	8	252	6 1/4	35479	15.2	182.4	194.5		
19	20-May-19	3-Jun-19		Normal	28° C	26° C	12:37	14	252	6 1/4	42655	15.2	182.4	233.8	236.0	93.7
20	20-May-19	3-Jun-19		Normal	28° C	26° C	12:39	14	252	6 1/4	43449	15.2	182.4	238.2		
21	20-May-19	17-Jun-19		Normal	28° C	26° C	12:56	28	252	6 1/4	42878	15.2	182.4	235.1	250.8	99.5
22	20-May-19	17-Jun-19		Normal	28° C	26° C	12:58	28	252	6 1/4	46162	15.2	182.4	253.1		
23	20-May-19	17-Jun-19		Normal	28° C	26° C	13:00	28	252	6 1/4	48216	15.2	182.4	264.3		

De las tablas 10.21 y 10.22, según el proceso de curado, tenemos:

- **Acelerado:** la probeta es puesta a curado acelerado con agua hirviendo al día siguiente de elaborada y luego el mismo día ser sometida al ensayo de compresión simple del concreto.
- **Normal y Acelerado:** la probeta se llevó a curado normal al día siguiente de vaciado de la probeta, para luego el mismo día de la rotura proceder primero al curado acelerado con agua hirviendo y luego al ensayo de compresión simple del concreto.
- **Acelerado y Normal:** primero se realizó el curado acelerado con agua hirviendo a las 10 horas de vaciada la probeta y en el mismo día ser colocada en curado normal para luego ser sometida al ensayo de compresión simple del concreto.
- **Normal:** la probeta es puesta a curado normal al día siguiente de elaborada y luego el día de su rotura ser sometida al ensayo de compresión simple del concreto.
- **Sin curado:** Probeta de concreto ensayada a la compresión simple al día siguiente de su elaboración.

Si analizamos, la resistencia a la compresión simple del concreto obtenida a los 28 días f'_c (laboratorio), se verifica que el factor de seguridad asumido al principio $1.2 \cdot f'_c$ (teórico), para ambos diseños de mezcla f'_{cr} (diseño), se ajusta al valor obtenido en laboratorio con un coeficiente de variación menor al 5 %, esto es:

- **Diseño DMC - 01:**

f'_c (teórico) = 280 kg/cm², f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² y f'_c (laboratorio) = 344.9 kg/cm².

Variación de la resistencia f'_c (laboratorio) respecto a la resistencia f'_{cr} (diseño) a los 28 días es 2.6%, donde el cálculo realizado fue:

$$\Delta \text{ Resistencia} = \left(\frac{344.9 - 336}{336} \right) * 100\% = 2.6 \%$$

- **Diseño DMC - 02:**

f'_c (teórico) = 210 kg/cm², f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm² y f'_c (laboratorio) = 250.8 kg/cm².

Variación de la resistencia f'_c (laboratorio) respecto a la resistencia f'_{cr} (diseño) a los 28 días es -0.5%, donde el cálculo realizado fue:

$$\Delta \text{ Resistencia} = \left(\frac{250.8 - 252}{252} \right) * 100\% = -0.5 \%$$

En tanto, el factor de seguridad asumido en los diseños de mezclas DMC - 01 Y DMC - 02 será útil cuando no se disponga de registros de resistencia de concreto anterior con los materiales que van a ser utilizados para preparar el concreto.

Ello será posible, si se mantiene el grado de control de los ensayos de laboratorio con un coeficiente de variación $v \leq 5 \%$, para así tener resultados muy confiables. No obstante, a partir de ello ajustar las proporciones de los componentes de los diseños de mezcla, sobre todo del contenido de cemento y de los agregados gruesos por metro cúbico de concreto (kg/m³).

Por otro lado, calculamos la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (v) en cada diseño de mezclas, para el conjunto de datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión simple del concreto f'_c (laboratorio) tanto a curado acelerado a 1 día como a curado normal a los 28 días. En este sentido, aplicamos las expresiones de la sección 8.4.1 y 8.4.2.

Las tablas 10.23, 10.24, 10.25 y 10.26, muestran los valores σ y v , de las resistencias de curado acelerado o normal.

Tabla 10. 23. Desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (v) de resistencias de curado acelerado con agua hirviendo para f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².

Nº	Resistencia (Xi) (kg/cm ²)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	174.2	-3.38	11.42
2	181.0	3.38	11.42
Suma	355.2	Suma	22.85
$n = 2$ $\bar{X} = 177.59$ Desviación estándar (σ) = 4.78 kg/cm² Coeficiente de variación (v) = 2.69 %			

Tabla 10. 24. Desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (v) de resistencias de curado normal para f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².

Nº	Resistencia (Xi) (kg/cm ²)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	343.3	-1.59	2.53
2	356.0	11.15	124.32
3	335.3	-9.56	91.39
Suma	1034.6	Suma	218.24
$n = 3$ $\bar{X} = 344.88$ Desviación estándar (σ) = 10.45 kg/cm² Coeficiente de variación (v) = 3.03 %			

Tabla 10. 25. Desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (v) de resistencias de curado acelerado con agua hirviendo para f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

Nº	Resistencia (Xi) (kg/cm ²)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	114.7	-0.17	0.03
2	115.0	0.17	0.03
Suma	229.7	Suma	0.06
$n = 2$ $\bar{X} = 114.83$			
Desviación estándar		(σ) =	0.24 kg/cm²
Coeficiente de variación		(v) =	0.21 %

Tabla 10. 26. Desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (v) de resistencias de curado normal para f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

Nº	Resistencia (Xi) (kg/cm ²)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	235.1	-15.75	248.17
2	253.1	2.25	5.05
3	264.3	13.51	182.43
Suma	752.4	Suma	435.65
$n = 3$ $\bar{X} = 250.81$			
Desviación estándar		(σ) =	14.76 kg/cm²
Coeficiente de variación		(v) =	5.88 %

De acuerdo a la tabla 8.8, tenemos que el grado de control está entre ensayos de laboratorio y ensayos de obra, puesto que el coeficiente de variación (v) obtenido máximo es 5.88 %.

Mientras tanto, con todos los datos de las roturas de probetas y de acuerdo al procedimiento realizado (curado acelerado o normal), o la ejecución de ambos (acelerado y normal o normal y acelerado), se procedió a elaborar las curvas logarítmicas de resistencia de curado normal vs. edad, resistencia de curado acelerado y normal vs. edad, y resistencia de curado normal y acelerado vs. edad.

No obstante, las curvas de resistencia a la compresión simple del concreto relativa a la edad, se muestran en los gráficos 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5 y 10.6.

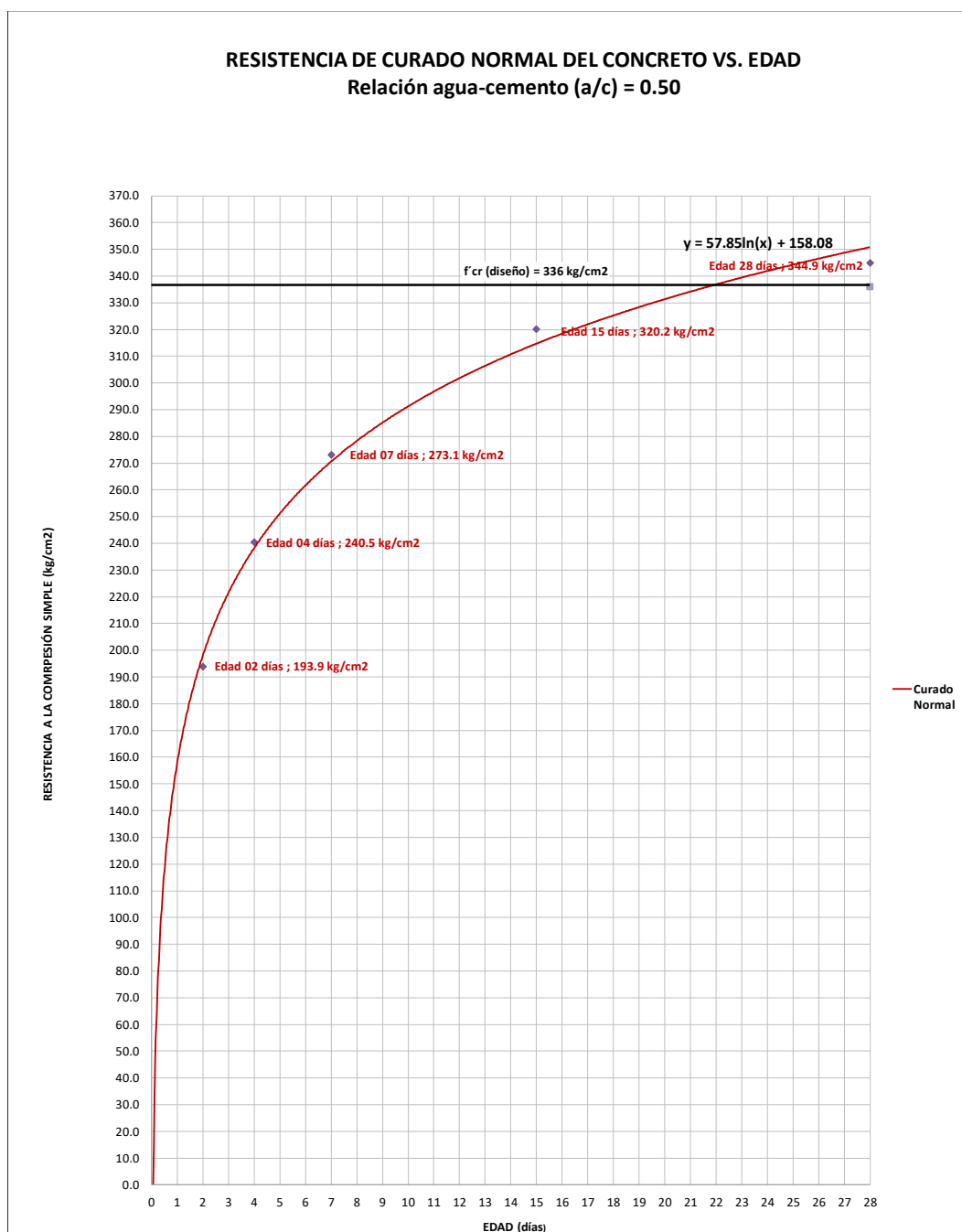


Gráfico 10. 1. Resistencia de curado normal del concreto vs. edad; a/c= 0.50.

RESISTENCIA DE CURADO NORMAL DEL CONCRETO VS. EDAD
Relación agua-cemento (a/c) = 0.60

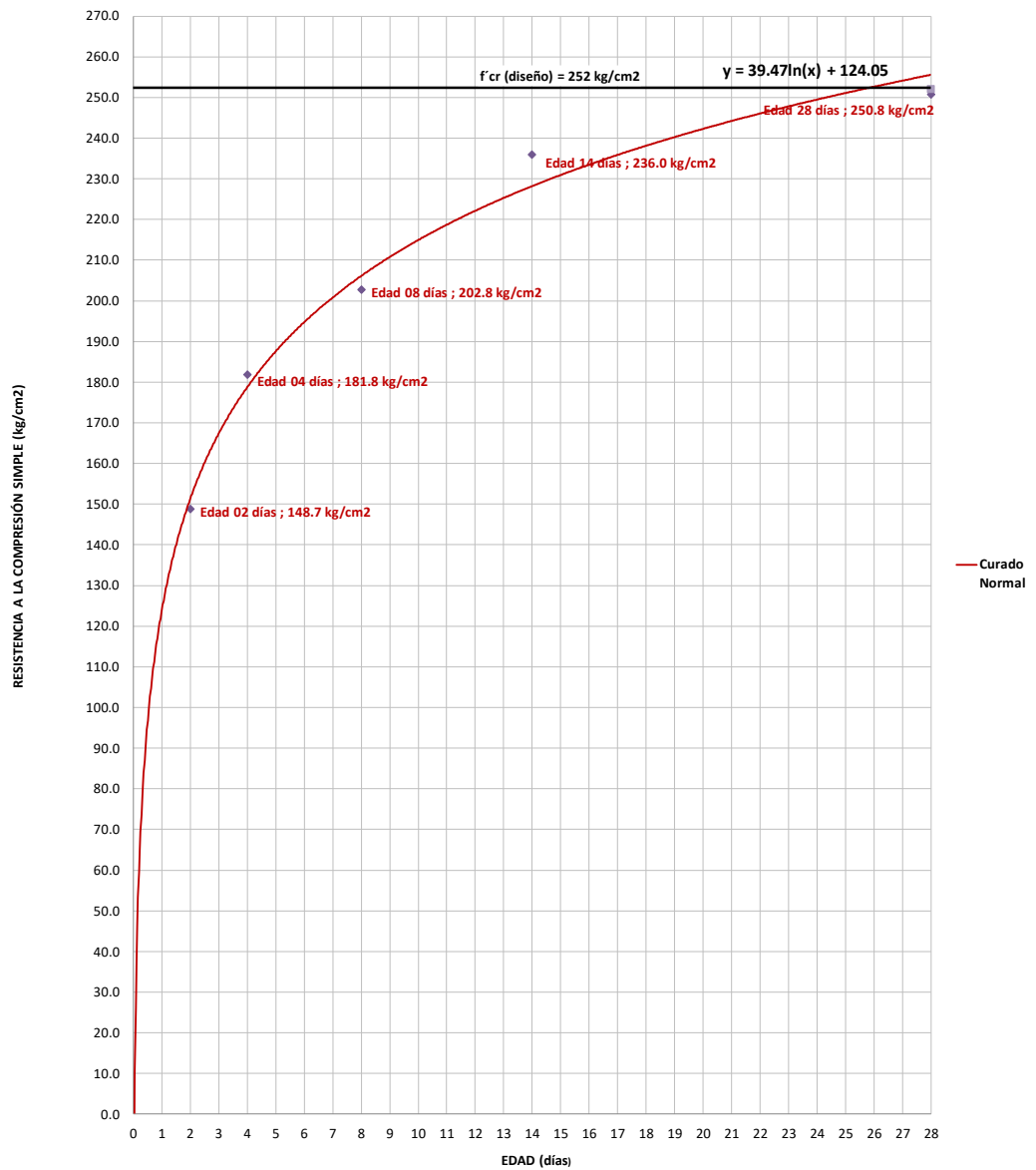


Gráfico 10. 2. Resistencia de curado normal del concreto vs. edad; a/c= 0.60.

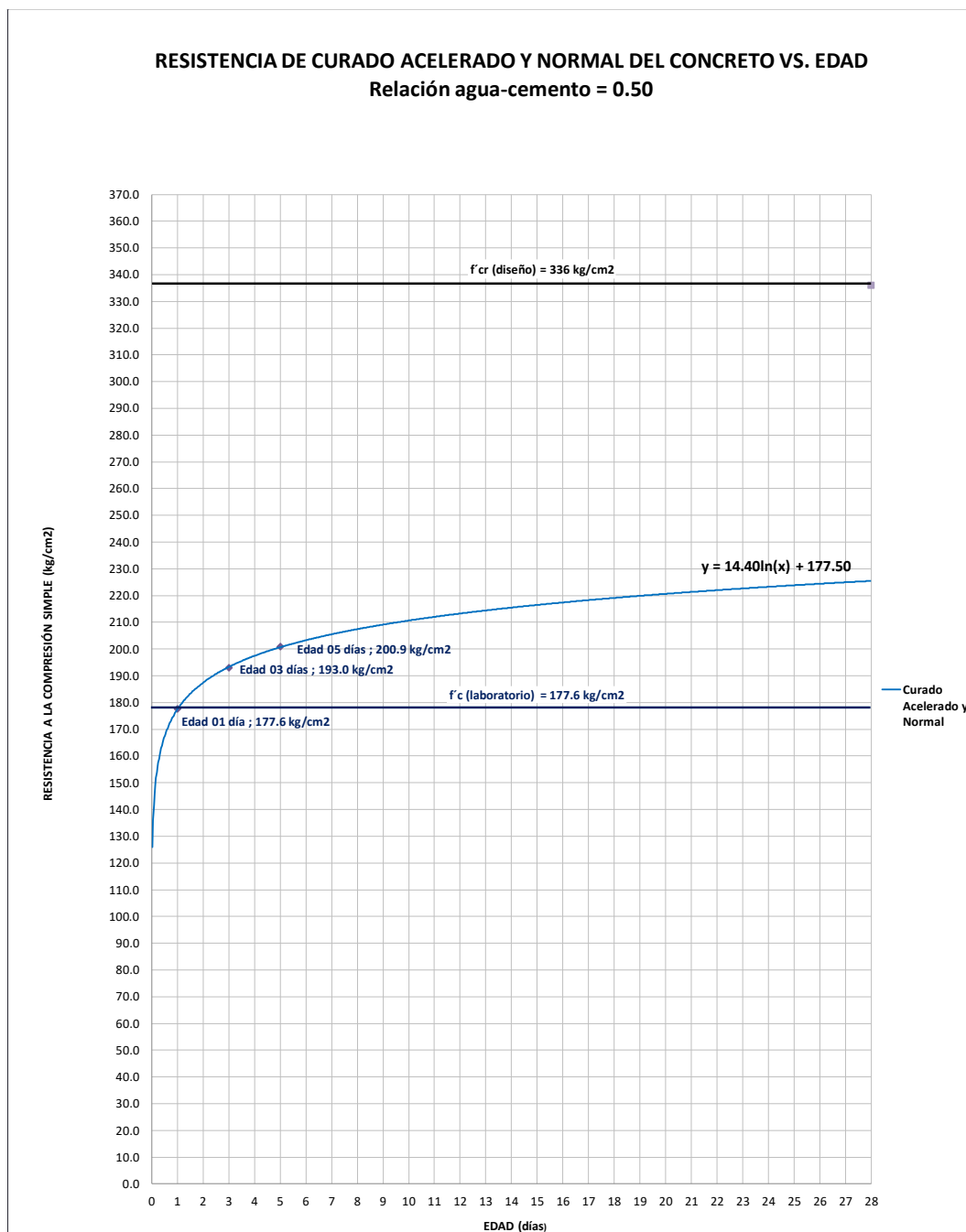


Gráfico 10. 3. Resistencia de curado acelerado y normal del concreto vs. edad; a/c= 0.50.

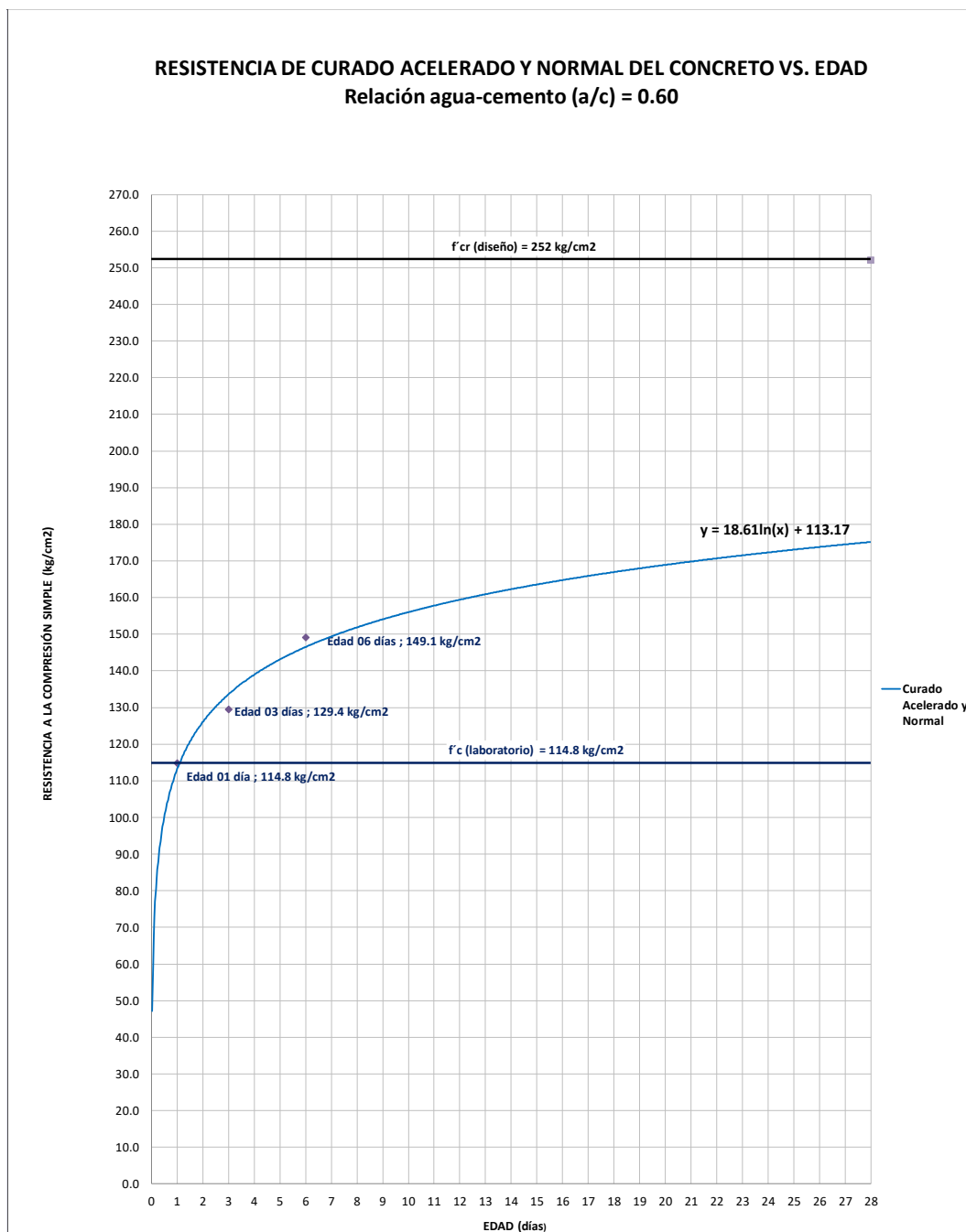


Gráfico 10. 4. Resistencia de curado acelerado y normal del concreto vs. edad; a/c= 0.60.

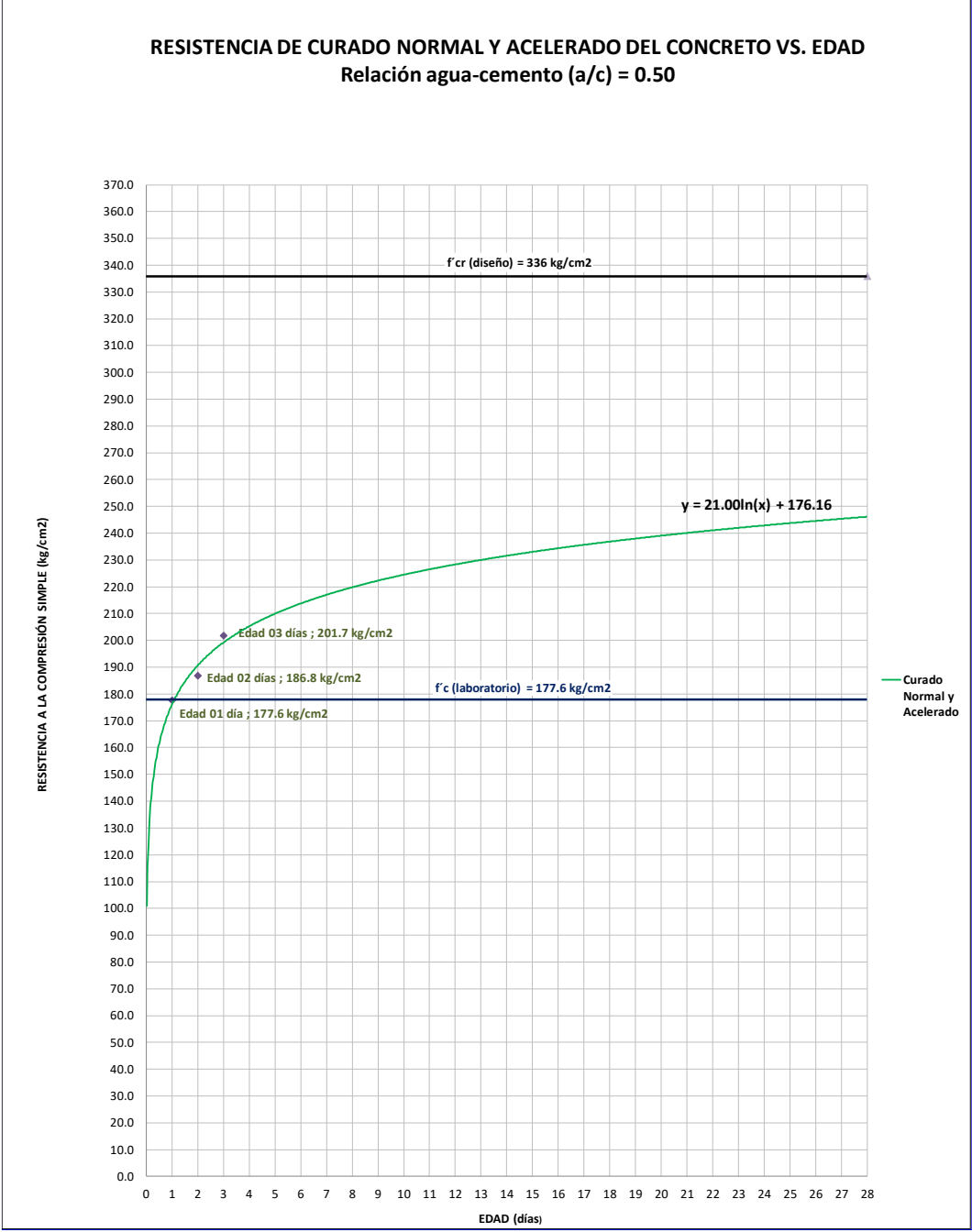


Gráfico 10. 5. Resistencia de curado normal y acelerado del concreto vs. edad; a/c= 0.50.

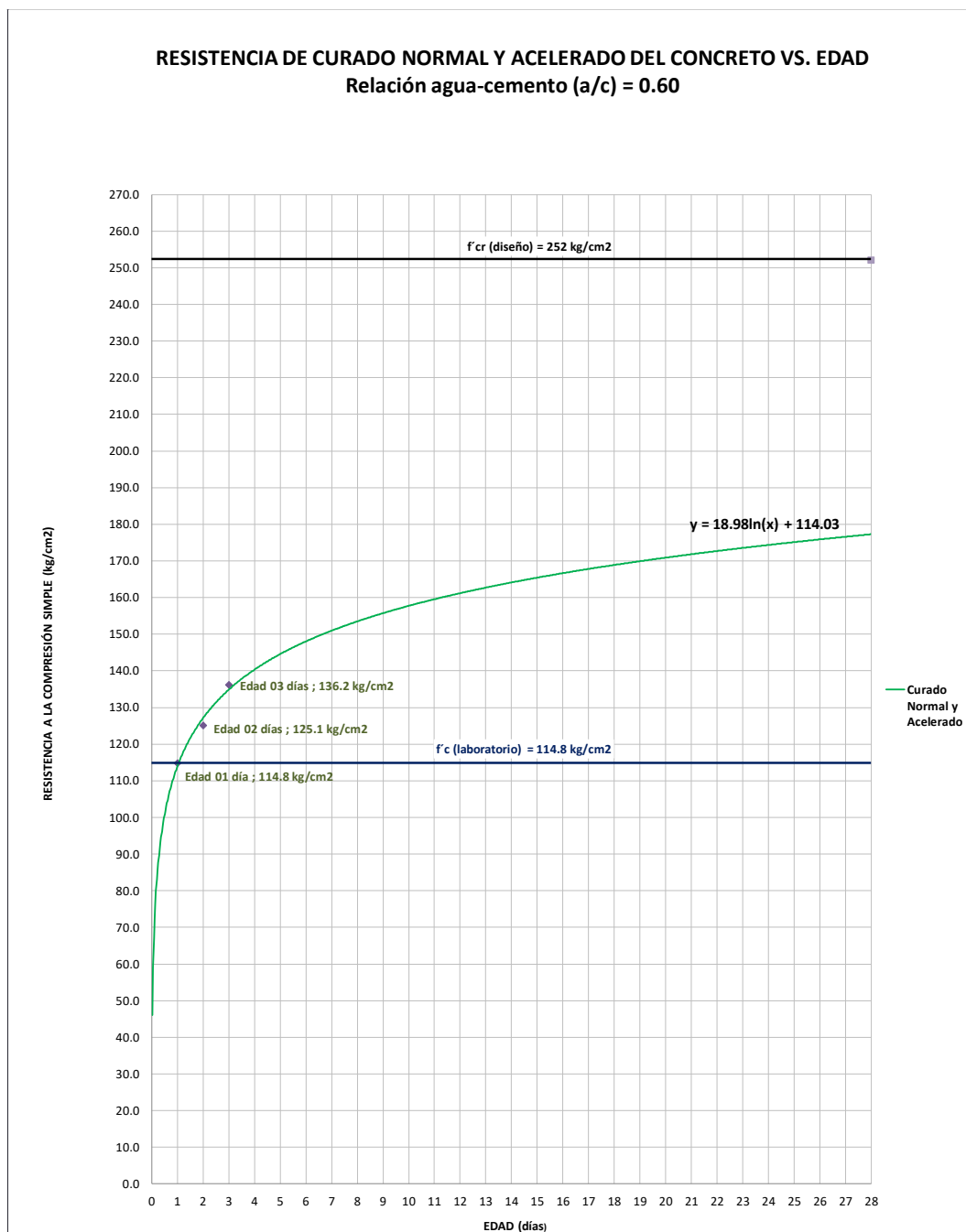


Gráfico 10. 6. Resistencia de curado normal y acelerado del concreto vs. edad; a/c= 0.60.

Por otro lado, se ha evidenciado que la falla más común en las roturas de todas las probetas de concreto elaboradas para los diseños DMC - 01 f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² y DMC - 02 f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², es la falla por corte (d), de acuerdo a lo indicado en la figura 10.44. La cual, se muestra en las figuras 10.45 y 10.46, y en las tablas 10.27 y 10.28.



Figura 10. 45. Falla por corte de las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².



Figura 10. 46. Falla por corte de las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

Tabla 10. 27. Tipos de fallas en las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².


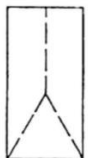



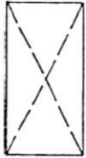
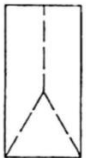



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
PROYECTO		: "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"					
REALIZADO POR		: Abraham Palacios Almendro		Relación agua-cemento (a/c)		: 0.60	
MUESTRA		: Probetas de Concreto		f'_{cr} (diseño)		: 252 kg/cm ²	
FALLA		: Indicadas		Nº de Registro		: FP - 02	
Serie Nº	Tipo de falla (a, b c, d, e)	a	b	c	d	e	Total
1	b		1				1
2	b		1				1
3	d				1		1
4	d				1		1
5	d				1		1
6	d				1		1
7	d				1		1
8	d				1		1
9	d				1		1
10	d				1		1
11	d				1		1
12	c			1			1
13	d				1		1
14	d				1		1
15	e					1	1
16	c			1			1
17	d				1		1
18	d				1		1
19	d				1		1
20	d				1		1
21	d				1		1
22	c			1			1
23	c			1			1
Total		0	2	4	16	1	23
		0.0%	8.7%	17.4%	69.6%	4.3%	100%
Tipos de fallas en probetas estándar de concreto							
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>Cono (a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cono y hendedura (b)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cono y corte (c)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Corte (d)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Columnar (e)</p> </div> </div>							

Tabla 10. 28. Tipos de fallas en las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
PROYECTO		: "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"					
REALIZADO POR		: Abraham Palacios Almendro		Relación agua-cemento (a/c)		: 0.50	
MUESTRA		: Probetas de Concreto		f'_{cr} (diseño)		: 336 kg/cm ²	
FALLA		: Indicadas		Nº de Registro		: FP - 01	
Serie Nº	Tipo de falla (a, b c, d, e)	a	b	c	d	e	Total
1	d				1		1
2	b		1				1
3	a	1					1
4	d				1		1
5	c			1			1
6	d				1		1
7	c			1			1
8	d				1		1
9	d				1		1
10	d				1		1
11	c			1			1
12	d				1		1
13	d				1		1
14	b		1				1
15	c			1			1
16	d				1		1
17	d				1		1
18	d				1		1
19	d				1		1
20	b		1				1
21	b		1				1
22	d				1		1
23	c			1			1
Total		1	4	5	13	0	23
		4.3%	17.4%	21.7%	56.5%	0.0%	100%
Tipos de fallas en probetas estándar de concreto							
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>Cono (a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cono y hendedura (b)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cono y corte (c)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Corte (d)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Columnar (e)</p> </div> </div>							

En definitiva, el porcentaje de falla de las probetas de concreto elaboradas para los diseños de mezcla DMC - 1 f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm² y DMC - 2 f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², se muestran en los gráficos 10.7 y 10.8, respectivamente.

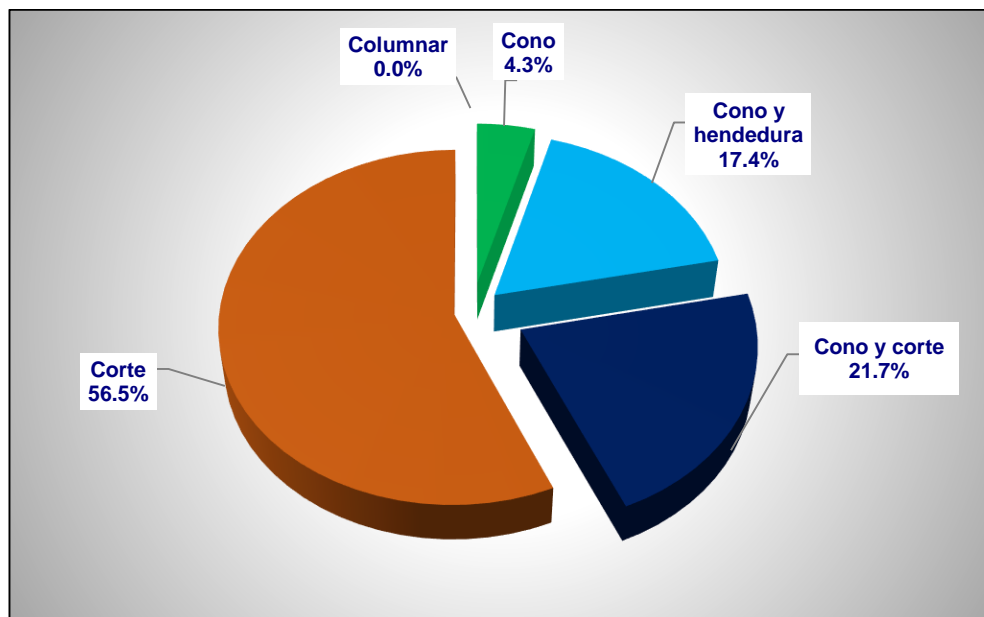


Gráfico 10. 7. Porcentajes de fallas en las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm².

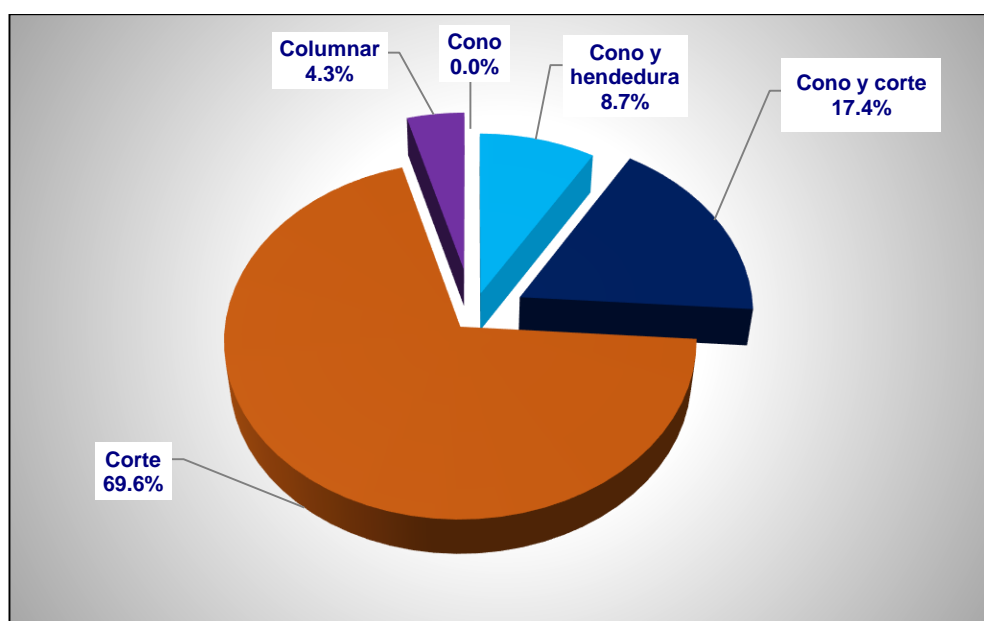


Gráfico 10. 8. Porcentajes de fallas en las probetas de concreto f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm².

CAPÍTULO XI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 CONCLUSIONES

- Para un concreto de $a/c = 0.50$ de f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm², si el concreto primero es puesto en curado acelerado con agua hirviendo y luego en curado normal, alcanzará una resistencia a la compresión simple f'_c (laboratorio) = 225.5 kg/cm² a 28 días.

Tabla 11. 1. Resistencia de curado acelerado del concreto; $a/c = 0.50$.

Procedimiento	Edad (días)	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	Porcentaje
Concreto de f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ² ; $a/c = 0.50$	28	336 kg/cm ²	100.0%
Concreto de f'_c (laboratorio); $a/c = 0.50$, con curado acelerado y luego curado normal	28	225.5 kg/cm ²	67.1%

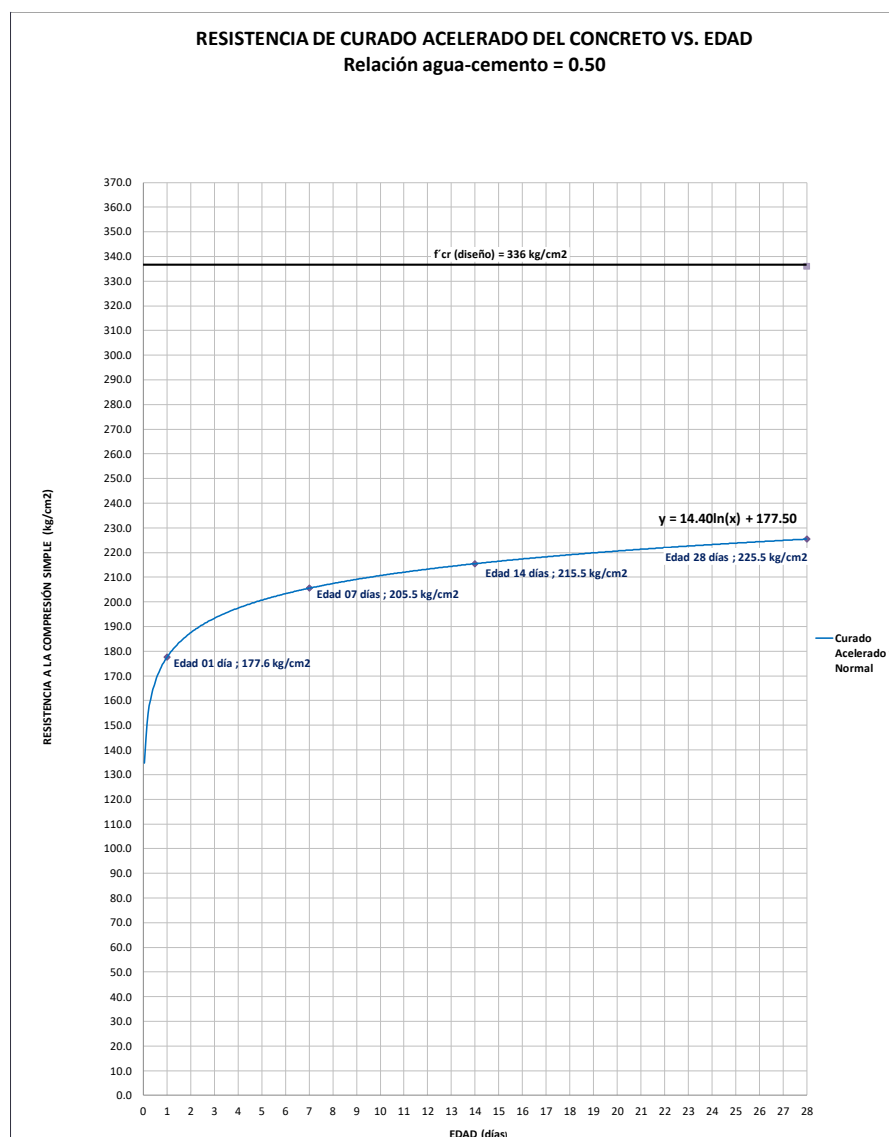


Gráfico 11. 1. Resistencia a la compresión simple del concreto con curado acelerado vs. edad; $a/c = 0.50$.

- Para un concreto de $a/c = 0.60$ de f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², si el concreto primero es puesto en curado acelerado con agua hirviendo y luego en curado normal, alcanzará una resistencia a la compresión simple f'_c (laboratorio) = 175.2 kg/cm² a 28 días.

Tabla 11. 2. Resistencia de curado acelerado del concreto; $a/c = 0.60$.

Procedimiento	Edad (días)	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	Porcentaje
Concreto de f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ² ; $a/c = 0.60$	28	252 kg/cm ²	100.0%
Concreto de f'_c (laboratorio); $a/c = 0.60$, con curado acelerado y luego curado normal	28	175.2 kg/cm ²	69.5%

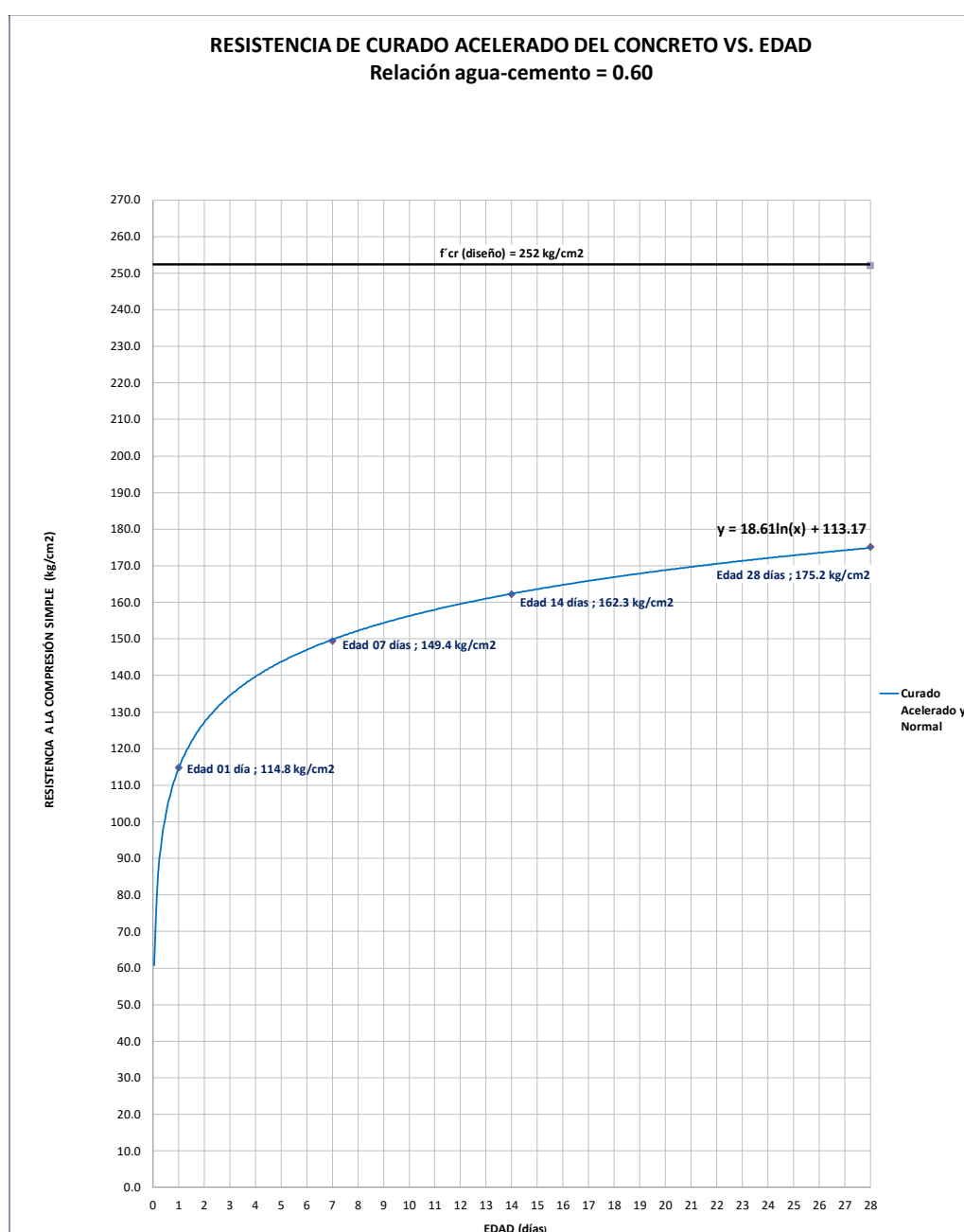


Gráfico 11. 2. Resistencia a la compresión simple del concreto con curado acelerado vs. edad; $a/c = 0.60$.

- Para un concreto de relación $a/c = 0.50$ de f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm², si en laboratorio el procedimiento es curado normal y luego curado acelerado con agua hirviendo, el incremento de su resistencia f'_c (laboratorio) es bajo, 5.6 % de f'_{cr} (diseño) a 28 días, respecto al procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo y luego curado normal.

Tabla 11. 3. Resistencia de curado del concreto; $a/c = 0.50$.

Procedimiento	Edad (días)	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	Porcentaje	Incremento (%)
Concreto de f'_{cr} (diseño) = 336 kg/cm ² ; $a/c = 0.50$	28	336 kg/cm ²	100%	
Concreto de f'_c (laboratorio); $a/c = 0.50$, con curado normal y luego curado acelerado	28	244.4 kg/cm ²	72.7%	5.6%
Concreto de f'_c (laboratorio); $a/c = 0.50$, con curado acelerado y luego curado normal	28	225.5 kg/cm ²	67.1%	

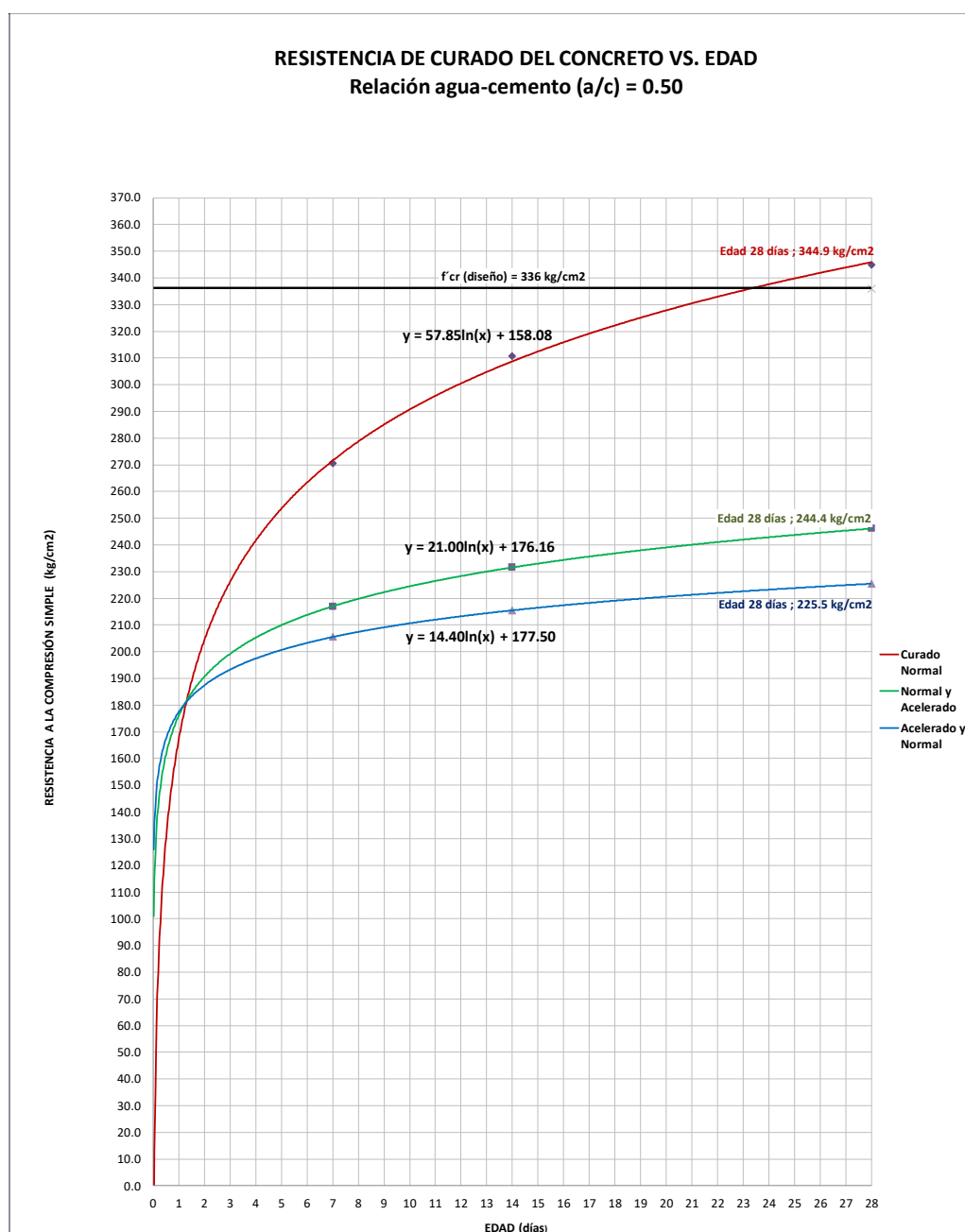


Gráfico 11. 3. Resistencia a la compresión simple del concreto vs. edad; $a/c = 0.50$.

- Para concreto de relación $a/c = 0.60$ de f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm², si en laboratorio el procedimiento es curado normal y luego curado acelerado con agua hirviendo, el incremento de su resistencia f'_c (laboratorio) es muy bajo, 0.8 % de f'_{cr} (diseño) a 28 días, respecto al procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo y luego curado normal.

Tabla 11. 4. Resistencia de curado del concreto; $a/c = 0.60$.

Procedimiento	Edad (días)	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	Porcentaje	Incremento (%)
Concreto de f'_{cr} (diseño) = 252 kg/cm ² ; $a/c = 0.60$	28	252 kg/cm ²	100%	0.8%
Concreto de f'_c (laboratorio); $a/c = 0.60$, con curado normal y luego curado acelerado	28	177.3 kg/cm ²	70.4%	
Concreto de f'_c (laboratorio); $a/c = 0.60$, con curado acelerado y luego curado normal	28	175.2 kg/cm ²	69.5%	

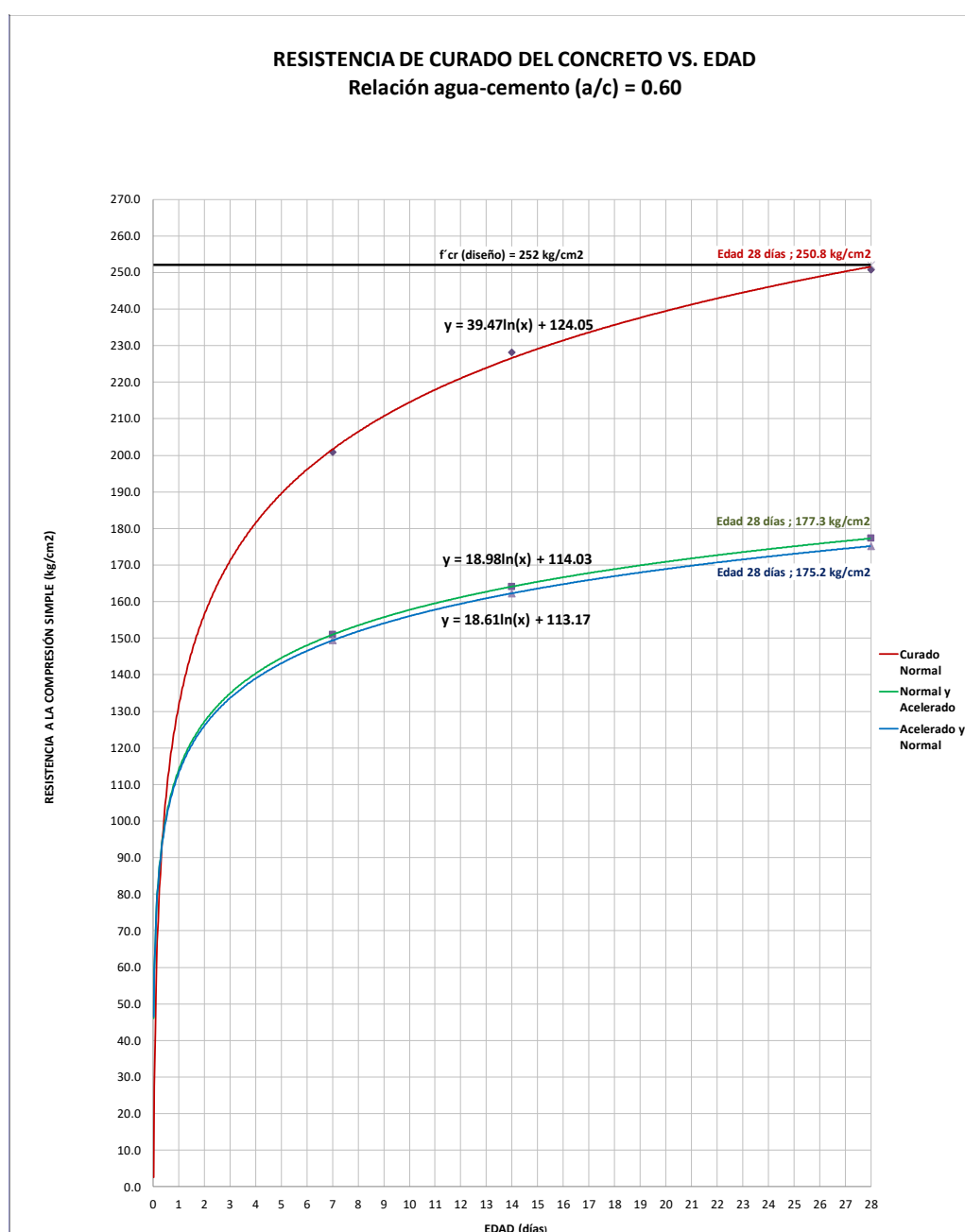


Gráfico 11. 4. Resistencia a la compresión simple del concreto vs. edad; $a/c = 0.60$.

- Se verifica que luego del curado acelerado con agua hirviendo a las probetas de concreto, se produce un incremento de la resistencia a la compresión simple del concreto. En este sentido, para una relación agua cemento (a/c), 0.50 y 0.60, la resistencia alcanzada f'_c (laboratorio) a 28 días es 225.5 y 175.2 kg/cm², respectivamente.
- Los resultados obtenidos f'_c (laboratorio), corresponden al uso del cemento Portland tipo I, para los concretos de relación agua-cemento (a/c), 0.50 y 0.60.
- Puesto que el cemento Portland tipo III genera un mayor calor de hidratación respecto del cemento Portland tipo I, se deduce que: si aplicamos el curado acelerado con agua hirviendo en concretos elaborados con cemento Portland tipo III, al tenerse las condiciones de elevado calor de hidratación del cemento y temperatura a 100 ° C del agua hirviendo, el f'_c (laboratorio) resultará mucho mayor de las resistencias obtenidas en el presente estudio, donde se ha empleado cemento Portland tipo I.

11.2 RECOMENDACIONES

- El proceso de curado acelerado con agua hirviendo debe ser aplicado a un tiempo mínimo de 10 horas y máximo de 24 horas de elaboradas las probetas de concreto.
- Antes de aplicar el procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo, contar con implementos de protección personal en buen estado.
- En caso de no contar con un tanque de curado sofisticado para desarrollar el proceso de curado acelerado con agua hirviendo, es posible confeccionar un equipo práctico para el laboratorio, a partir de materiales disponibles y de bajo costo en nuestro medio.
- Una vez finalizado el curado acelerado con agua hirviendo a las probetas de concreto, serán ensayadas a la compresión simple, luego de retiradas del agua hirviendo y enfriadas durante 2 horas a la temperatura del ambiente.
- Ampliar el estudio a otras relaciones de agua-cemento (a/c) que permitan entender con mayor detalle la relación: resistencia a la compresión simple de curado normal (estándar) a 28 días vs. resistencia a la compresión simple de curado acelerado con agua hirviendo en las probetas de concreto.
- Analizar el procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo en probetas de concreto elaboradas a partir de diseños de mezcla de concreto empleando otros tipos de cemento, aditivo y/o adiciones minerales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros

- Bolívar, O. (2006). *Dosificación de mezclas de hormigón*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela de Ingeniería Civil. Medellín, Colombia.
- Flavio Abanto Castillo (2009). *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)*. Editorial San Marcos. 2da. edición. Lima, Perú.
- Garavito, J. (2014). *Concreto de alto desempeño*. Maestría en Ingeniería Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
- Laura, S. (2006). *Diseño de mezclas de concreto*. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad De Ingeniería Civil. Puno, Perú.
- Neville, A. M. (1980). *Tecnología del concreto*. Tomo I y II, Primera edición, tercera reimpresión. Instituto mexicano del cemento y del concreto. México.
- Oré Torre, John (2014). *Manual de preparación, colocación y cuidados del concreto*. Lima, Perú. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO. Primera edición. CARTOLAN EDITORES SRL.
- Pasquel, E. (1998 - 1999). *Tópicos de tecnología del concreto*. Colegio de Ingenieros del Perú. Consejo Nacional. Segunda edición. Lima, Perú.
- Portugal, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño*. Arequipa, Perú.
- Rivera, G. (2015). *Concreto simple*. Cauca, Colombia. Ingeniería y Construcción. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Capítulo Peruano ACI. Primera edición. Lima, Perú.
- Torre, A. (2014). *Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Laboratorio de Ensayo de Materiales. Lima, Perú.

Tesis

- Alva, R. (2013). “*Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante uso de agua hirviendo*”. Tesis de pregrado. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Andrade, A. & Sono, J. (2014). “*Aplicación del ensayo de curado acelerado en cilindros de hormigón sometidos a compresión simple*”. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Arévalo, H. & Herrera, J. (2005). “*Análisis comparativo en la resistencia a la compresión del curado acelerado frente al curado convencional en probetas cilíndricas de concreto*”. Tesis de grado. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.
- Del Carpio, O. (2016). “*Implementación del sistema de curado acelerado para la optimización de diseños de mezcla de concreto, estimando resistencias a edades mayores, en la ciudad de Arequipa*”. Tesis de grado. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Guzmán, V. (2009). “*Manual de prácticas de concreto hidráulico*”. Tesis de grado. Universidad Veracruzana, Xalapa, México.
- Rodríguez, C. & Torres, Edwin. (2018). “*Fabricación de un dispositivo, para generar el curado acelerado en cilindros de hormigón, para evaluar la resistencia a la compresión en un tiempo menor a las 24 horas*”. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Artículos

- Calderón, A. & Burbano, M. (2016). Revista Ingeniería y Región. 2016;16(2): 35-48. *Efectos en la resistencia del hormigón simple elaborados con agua residual tratada proveniente de la PTAR Cañaveralejo*. Universidad Surcolombiana. Colombia.
- Calleja, J. (1983). *Adiciones y cementos con adiciones*. Materiales de Construcción N.º 190-191 - 1983. IETCC/CSIC. Madrid, España.
- Fernández, M. (1991). *Influencia de la temperatura de curado sobre la evolución de las resistencias a compresión de hormigones fabricados con distintos tipos de cementos*. Materiales de construcción, Vol. 41, n° 222. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España.
- García, C., Saval, J. Baeza, F. & Tenza, A. (2009 - 2008). *Prácticas de Materiales de Construcción – I.T. Obras Públicas. Práctica N° 6*. Universidad de Alicante. España.
- Gastañadu, F. Control de calidad de concreto. Dino.
- Krishna, R., & Sukesan, N. (1977). *Ensayos acelerados de resistencia del hormigón*. The Indian Concrete Journal, vol. (51), 334-341. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.
- Sika Informaciones Técnicas (2009). *Curado del Concreto*. ISSN-0122-0594. Construcción. Sika Colombia S.A.

Normas

- American Society for Testing and Materials (2003). *Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens*¹. ASTM C 684 - 99. West Conshohocken, United States.
- American Society for Testing and Materials (2001). *Standard Specification for Concrete Aggregates*¹. ASTM C 33 – 01a. West Conshohocken, United States.
- American Society for Testing and Materials (2001). *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*¹. ASTM C 125 – 00a^{ε1}. West Conshohocken, United States.
- Comité ACI 318 (2008). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y comentario (Versión en español y en sistema métrico)*. Adoptado como Norma del American Concrete Institute, USA.
- Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras (2007). Sección 200 - Agregados Pétreos. *Norma INVE – 227 – 13*. Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). Bogotá, Colombia.
- Manual de Carreteras (2013). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 2013). *Sección 503 Concreto estructural*. Lima, Perú.
- Manual de Ensayo de Materiales (2016). *Sección N° 7 Concreto*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Lima, Perú.
- Norma Técnica Guatemalteca (2014). Norma COGUANOR NTG 41041. *Práctica para el curado acelerado de cilindros de concreto*. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2009). *Norma E.060 Concreto Armado*. Primera edición. Lima, Perú.

Sitios Web

- <https://www.coursehero.com/file/16392304/100611-Cemento-y-sus-aplicaciones/>
- <https://es.scribd.com/presentation/3121134/Adiciones-Minerales-Ana-Torre>
- <https://www.libreriaingeniero.com/2017/11/curado-del-concreto.html>
- <https://es.scribd.com/document/356968102/Tipos-de-Curado-Acelerado-NTP-339-213>.

ANEXOS



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La colosia Nro. 150 Urb. El Vivero de Montemico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 04

Planta: Pacasmayo

Cemento Portland Tipo I

8 de enero de 2019

Periodo de despacho 01 de Diciembre de 2018 - 31 de Diciembre de 2018

REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	2.2
SO ₃ (%)	3.0 máx.	2.8
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	3.1
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.7

FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	6
Superficie específica (cm ² /g)	2600 mín.	3930
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.11
Densidad (g/mL)	^A	3.05
Resistencia a la compresión min, (MPa)		
1 día	^A	15.4
3 días	12.0	29.0
7 días	19.0	35.6
28 días ⁽¹⁾	28.0	43.3
Tiempo de fraguado, minutos, Vicat		
Inicial, no menor que:	45	109
Final, no mayor que:	375	232

^A No especifica.

⁽¹⁾ Requisito opcional.

La resistencia a 28 días corresponde al mes de Noviembre del 2018.

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.2016.

Ing. Dennis R. Rodas Lavado
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

Anexo 1. Ficha técnica de cemento Portland tipo I usado en el diseño de mezclas de concreto.

Fuente: Distribuidora Norte Pacasmayo S.T.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS																
PROYECTO		: "INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO"														
REALIZADO POR		: Abraham Palacios Almendo										Relación agua-cemento (a/c) :				
MUESTRA		: Probetas de Concreto										f'cr (diseño) :		kg/cm2		
FECHA		: Indicadas										N° de Registro :		RP -		
<div>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO</div> <div>MTC E 704 - N.T.P. 339.034 - A.S.T.M. C 39</div>																
Serie N°	Fecha		Diseño	Proceso de Curado	Temp. Ambiente	Temp. Mezcla	Hora de Rotura	Edad (Días)	f'cr (diseño) (kg/cm²)	Slump (Pulg.)	Lectura Dial (Kg.)	Diám. ϕ	Área (cm²)	Resisten. (kg/cm²)	Resist. Prom. (kg/cm²)	Prom. (%)
	Moldeo	Rotura														
			DMC - f'cr (diseño) = kg/cm2 a/c=													

Anexo 2. Formato de registro y control de las roturas de probetas de concreto para curado acelerado y normal.

Anexo 3. Formato de registro de fallas de las probetas de concreto puestas en curado acelerado y normal.

Anexo 4. Requerimientos de gradación en agregados finos para concreto.

137

TABLE 2 Grading Requirements for Coarse Aggregates

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	...
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

^A Size number 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

Anexo 5. Norma ASTM C 33 – 01a – Requerimientos de gradación en agregados gruesos para concreto.

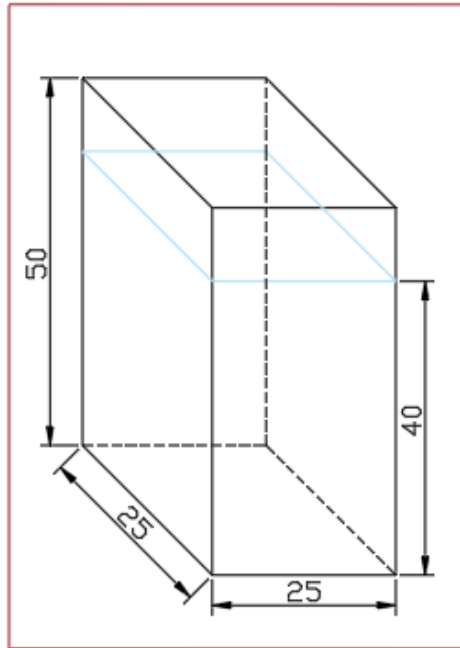
Fuente: Norma ASTM C 33 – 01a. Standard Specification for Concrete Aggregates¹. West Conshohocken, United States (ASTM, 2001)

Título: “INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO EN LA RESISTENCIA TEMPRANA DEL CONCRETO”.			
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable (s)
<ul style="list-style-type: none"> ¿De qué manera influye el curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la influencia del curado acelerado con agua hirviendo en la resistencia temprana del concreto. Aplicar el procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo indicado en la norma ASTM C 684 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales). Establecer cómo influye el curado acelerado con agua hirviendo en los diseños de mezcla según la relación agua / cemento. 	<ul style="list-style-type: none"> El curado acelerado con agua hirviendo aumenta la resistencia temprana del concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> Variable dependiente. Resistencia a la compresión temprana de probetas de concreto, puestas en curado acelerado. Variable Independiente. Método del curado acelerado con agua hirviendo sobre probetas de concreto.

Anexo 6. Matriz de consistencia del proyecto.

ÍTEM	PARTIDAS Y SUB-PARTIDAS	MONTO (\$/.)
I	Personal	
1.1	Tesista	2500
1.2	Ayudante	250
II	Equipos y ensayos de laboratorio	
2.1	Laptop	2000
2.2	Impresora	800
2.3	Ensayos al agregado grueso y agregado fino	300
2.4	Ensayo de Slump	50
2.5	Equipo de curado acelerado	300
2.6	Rotura de probetas de concreto	200
2.7	Implementos de seguridad	100
III	Materiales	
3.1	Cemento Portland ipo I	90
3.2	Piedra Chancada	80
3.3	Arena gruesa	50
3.4	Agua Potable	20
3.5	Balón de gas	120
IV	Útiles y servicios	
4.1	Movilidad	150
4.2	Internet	250
4.3	Tiempo	80
4.4	Escaneos	40
4.5	Impresiones	200
4.6	Útiles	80
4.7	Energía eléctrica	20
	TOTAL	7680

Anexo 7. Resumen de presupuesto del proyecto.



Anexo 8. Dimensiones (*) de recipiente para el curado acelerado de una probeta de concreto.

(*) Medidas del recipiente (línea color negro) y nivel de agua de curado acelerado (línea color celeste) en centímetros (cm).



Anexo 9. Preparación de probetas de concreto para el curado acelerado o normal.



Anexo 10. Curado acelerado con agua hirviendo de las probetas de concreto.



Anexo 11. Curado normal con agua potable de las probetas de concreto.



Anexo 12. Secado y enfriado de las probetas de concreto del curado acelerado.



Anexo 13. Prensa de rotura de probetas de concreto en laboratorio.



Anexo 14. Ensayo de compresión simple a las probetas de concreto de curado acelerado.



Anexo 15. Ensayo de compresión simple a las probetas de concreto de curado normal.